

APPENDIX A

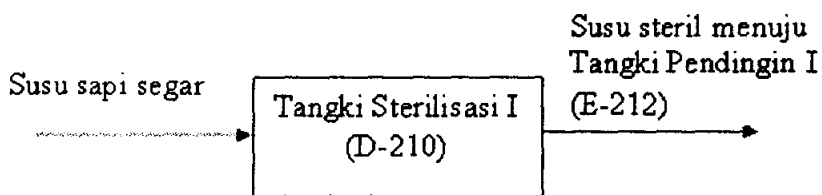
PERHITUNGAN NERACA MASSA

Asumsi dalam satu tahun terdapat 300 hari kerja

Kapasitas produksi = 12.170.913.320 kapsul /tahun

= 40.569.711 kapsul /hari

A. Tangki Sterilisasi I (D-210)



A.1 Data-data

Waktu fermentasi kultur adalah 24 jam dengan suhu fermentasi optimum 37°C, dengan kondisi ini dapat dihasilkan bakteri *Lactobacillus acidophilus* sebanyak $1,62 \times 10^9$ CFU/mL medium susu [21]. Diinginkan jumlah bakteri yang dihasilkan dari fermentasi adalah sejumlah 81.139.422.000.000.000 CFU/hari, yang didapat berdasar hasil perhitungan di bawah ini.

Kapasitas produksi kapsul probiotik yang diinginkan adalah 40.569.711 kapsul/hari, dengan jumlah bakteri 2 miliar CFU per kapsul, sehingga total bakteri yang harus dihasilkan adalah $(2 \text{ miliar CFU/kapsul} \times 40.569.711 \text{ kapsul/hari}) = 81.139.422.000.000.000 \text{ CFU/hari}$.

Untuk menghitung jumlah strain bakteri yang masuk dalam bioreaktor, diperlukan perhitungan dengan menggunakan data waktu regenerasi bakteri.

Waktu generasi (G) untuk *Lactobacillus acidophilus* adalah 87 menit [34].

$$t = 24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit/jam} = 1440 \text{ menit}$$

$$\text{Jumlah generasi (n)} = t / G$$

$$= 1440 \text{ menit} / 87 \text{ menit}$$

$$= 16,55 \approx 16$$

Dari data diketahui bahwa dengan kondisi optimum fermentasi dapat dihasilkan bakteri sebanyak $1,62 \times 10^9$ CFU/mL medium susu. Dengan demikian volume susu yang diperlukan untuk menghasilkan bakteri sebanyak $2,12 \times 10^{17}$ CFU/hari

= $81.139.422.000.000.000 \text{ CFU/hari} : (1,62 \times 10^9) \text{ CFU/ mL}$
= $50.086.061 \text{ mL /hari} = 50.086 \text{ L/hari}$

- Densitas susu pada $20^\circ \text{C} = 1,03 \text{ kg/L}$ [35]
- Susu disterilisasi dengan memanaskan susu sampai suhu 70°C selama 30 menit [36]

A.2 Perhitungan

Massa susu yang masuk = $50.086 \text{ L/hari} \times 1,03 \text{ kg/L}$
= $51.588,6429 \text{ kg/hari}$.

A.2.1 Komponen yang masuk

- susu sapi segar = $51.588,6429 \text{ kg/hari}$

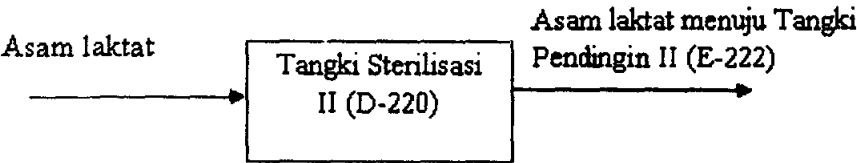
A.2.2 Komponen yang keluar

- susu sapi segar = $51.588,6429 \text{ kg/hari}$

A.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Susu sapi	51.588,6429	Susu sapi	51.588,6429
Jumlah	51.588,6429	Jumlah	51.588,6429

B. Tangki Sterilisasi II (D-220)



B.1 Data-data

- Digunakan untuk mensterilkan asam laktat (cair) selama 10 menit pada suhu 105°C [20]
- Asam laktat digunakan untuk mengatur pH awal medium, ditambahkan sebanyak 10% v/v dari volume medium [20].
- Densitas asam laktat = $1,2 \text{ kg/L}$ [37]

B.2 Perhitungan

B.2.1 Komponen yang masuk

- asam laktat = 10%v/v x 50.086,0611 L = 5.008,6061 L
Massa asam laktat yang masuk = 1,2 kg/L x 5.008,6061 L
= 6.010,3273 kg

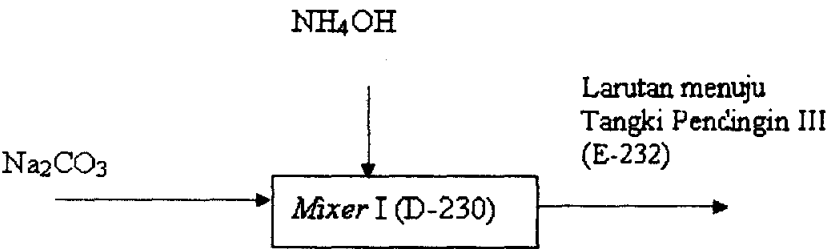
B.2.2 Komponen yang keluar

- asam laktat = 6.010,3273 kg

B.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Asam laktat	6.010,3273	Asam laktat	6.010,3273
Jumlah	6.010,3273	Jumlah	6.010,3273

C. *Mixer I (D-230)*



C.1 Data-data

- NH₄OH yang ditambahkan sebanyak 10% v/v dari volume medium, sekaligus sebagai sumber nitrogen untuk nutrisi bakteri [20].
- NH₄OH yang digunakan langsung berupa larutan dengan kandungan NH₃ 30% (w/w) dan air 70% (w/w) [38].
- Densitas NH₄OH = 0,9 kg/L [37].
- Na₂CO₃ yang ditambahkan sebanyak 10% (w/v) dari volume NH₄OH [20].
- NH₄OH dan Na₂CO₃ digunakan untuk menjaga pH medium [20].

C.2 Perhitungan

C.2.1 Komponen yang masuk

- NH₄OH = 10 % (v/v) x 50.086,0611 L
= 5.008,6061 L

= 0,9 kg/L x 5.008,6061 L

= 4.507,7455 kg, dengan komposisi:

NH₃ = 0,3 x 4.507,7455 kg = 1.352,3236 kg

Air = 0,7 x 4.507,7455 kg = 3.155,4218 kg

- Na₂CO₃ = 10% (w/v) x volume NH₄OH
= 10% x 5.008,6061 L
= 500,8606 kg

C.2.2 Komponen yang keluar

- NH₄OH = 4.507,7455 kg, dengan komposisi

NH₃ = 0,3 x 4.507,7455 kg = 1.352,3236 kg

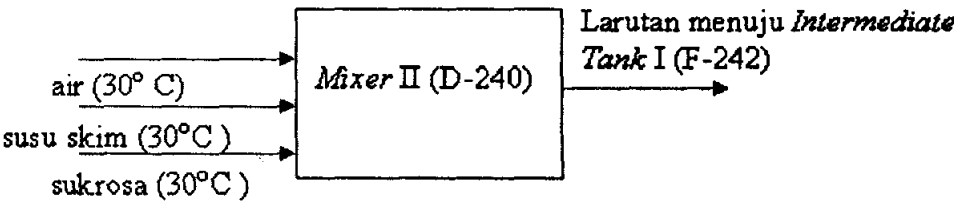
Air = 0,7 x 4.507,7455 kg = 3.155,4218 kg

- Na₂CO₃ = 500,8606 kg

C.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
NH ₄ OH	4.507,7455	Larutan	5.008,6061
NH ₃	1.352,3236	NH ₄ OH	4.507,7455
Air	3.155,4218	NH ₃	1.352,3236
Na ₂ CO ₃	500,8606	Air	3.155,4218
		Na ₂ CO ₃	500,8606
Jumlah	5.008,6061	Jumlah	5.008,6061

D. Mixer II (D-240)



D.1 Keterangan

Mixer II digunakan untuk mencampur bahan-bahan *protective agent* (air, susu skim, dan sukrosa) dalam suhu ruang selama 30 menit dalam kondisi isothermal, kemudian dilanjutkan dengan sterilisasi panas pada suhu 105°C menggunakan *steam*. Asam askorbat tidak dicampurkan terlebih dahulu karena

disterilisasi sendiri menggunakan proses filtrasi karena asam askorbat rusak pada suhu tinggi.

D.2 Perhitungan

D.2.1 Komponen yang masuk

- air = 50.086,0611 L = 49.869,6893 kg
- susu skim = 28% x 50.086,0611 = 14.024,0971 kg
- sukrosa = 4% x 50.086,0611 = 2.003,4424 kg

D.2.2 Komponen yang keluar

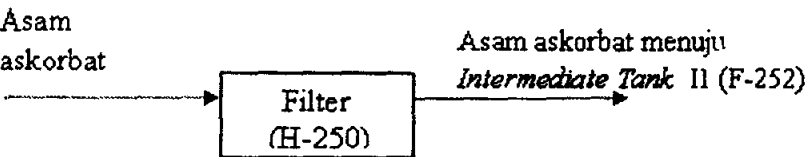
Larutan *protective agent* yang terdiri dari:

- air = 50.086,0611 L = 49.869,6893 kg
- susu skim = 28% x 50.086,0611 = 14.024,0971 kg
- sukrosa = 4% x 50.086,0611 = 2.003,4424 kg

D.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Air	49.869,6893	Larutan	65.897,2288
Sukrosa	2.003,4424	Air	49.869,6893
Susu skim	14.024,0971	Sukrosa	2.003,4424
		Susu skim	14.024,0971
Jumlah	65.897,2288	Jumlah	65.897,2288

E. Filter Asam Askorbat (H-250)



E.1 Data-data

- Digunakan untuk sterilisasi asam askorbat padat, karena penggunaan panas akan merusak asam askorbat [20].
- Asam askorbat yang harus ditambahkan sebanyak 0,3% w/v dari volume medium [20].

E.2 Asumsi

- Komponen pengotor dalam asam askorbat sebanyak 5% berat

E.3 Perhitungan

E.3.1 Komponen masuk

- asam askorbat = $0,3\% \text{ w/v} \times 50.086,0611 \text{ L} = 150,2582 \text{ kg} + 5\% \text{ berat}$
 $= 158,1665 \text{ kg}$

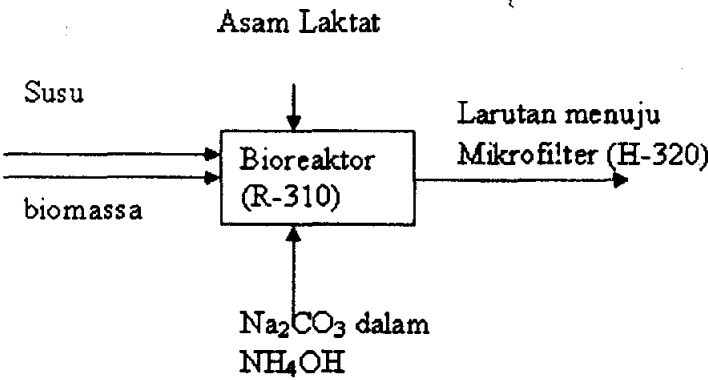
E.3.2 Komponen keluar

- asam askorbat = $0,3\% \text{ w/v} \times 50.086,0611 \text{ L} = 150,2582 \text{ kg}$
- pengotor = 7,9083 kg

E.3.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Asam askorbat	150,2582	Melewati filter Asam askorbat	150,2582
Pengotor	7,9083	Tertahan pada filter Pengotor	7,9083
Jumlah	158,1665	Jumlah	158,1665

F. **Bioreaktor (R-310)**



F.1 Data-data

- Komposisi susu sapi yang masuk [9]:

Komposisi	Jumlah (% berat)
Laktosa	4,8
Air	87,8
Protein	3,2
Zat lain	4,2
Jumlah	100

- Biomassa yang ditambahkan sebanyak 10% w/v dari volume medium [20].
- Sumber nitrogen yang digunakan adalah NH_3 dari NH_4OH yang digunakan untuk menjaga pH medium..

- Pemiakan bakteri berlangsung dalam kondisi anaerob, menghasilkan biomassa, air, dan CO_2 .

F.2 Asumsi

- Laktosa terkonversi seluruhnya menjadi glukosa dan galaktosa.
- Rumus molekul *Lactobacillus acidophilus* didekati dengan rumus molekul bakteri secara umum, yaitu $\text{CH}_{1,64}\text{O}_{0,52}\text{N}_{0,16}$ [39].

F.3 Perhitungan

F.3.1 Komponen yang masuk

- Susu sapi sebanyak 51.588,6429 kg, dengan komposisi sebagai berikut:

Komposisi	Jumlah (% berat)	Jumlah (kg)
Laktosa	4,8	2.476,2549
Air	87,8	45.294,8285
Protein	3,2	1.650,8366
Zat lain	4,2	2.166,7230
Jumlah	100	51.588,6429

- Asam laktat = 6.010,3273 kg
- Larutan Na_2CO_3 dalam NH_4OH = 5008,6061 kg, dengan komposisi:
 - Na_2CO_3 = 500,8606 kg
 - NH_4OH = 4.507,7455 kg, dengan komposisi:
 - NH_3 = $0,3 \times 4.507,7455 \text{ kg} = 1.352,3236 \text{ kg}$
 - Air = $0,7 \times 4.507,7455 \text{ kg} = 3.155,4218 \text{ kg}$
- Biomassa (10% w/v dari medium) = $10\% \times 50.086,0611 \text{ L}$
= 5.008,6061 kg

F.3.2 Reaksi yang terjadi

❖ Reaksi penguraian laktosa

- Mol laktosa yang masuk ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) = $2.476,2549 \text{ kg} / 342 \text{ (kg/kmol)}$
= 7,2405 kmol
- Mol air yang masuk (H_2O) pada susu = $45.294,8285 \text{ kg} / 18 \text{ (kg/kmol)}$
= 2.516,3794 kmol

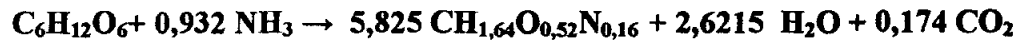
	C₁₂H₂₂O₁₁	+	air	→	C₆H₁₂O₆	+	C₆H₁₂O₆
mula	7,2405 kmol		2.516,3794 kmol				
bereaksi	7,2405 kmol		7,2405 kmol		7,2405 kmol		7,2405 kmol
setimbang	-		2.509,1388 kmol		7,2405 kmol		7,2405 kmol

Massa glukosa (C₆ H₁₂O₆) mula-mula = 7,2405 kmol x 180 kg/kmol
= 1.303,2920 kg

❖ Reaksi pembentukan biomassa [40].

Glukosa yang dikonsumsi oleh bakteri untuk menghasilkan biomassa adalah keseluruhan massa glukosa = 7,2405 kmol

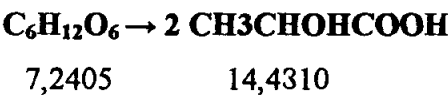
Jumlah NH₃ berasal dari larutan NH₄OH adalah
= 1.352,3236 kg/17 kg/kmol = 79,5484 kmol



M	7,2405	79,5484			
R	7,2405	6,7481	42,1759	18,9810	1,2598
S	0	72,8003	42,1759	18,9810	1,2598

❖ Reaksi pembentukan asam laktat

Gula yang terkonversi menjadi asam laktat adalah galaktosa hasil hidrolisis laktosa = 7,2405 kmol



Komponen yang keluar

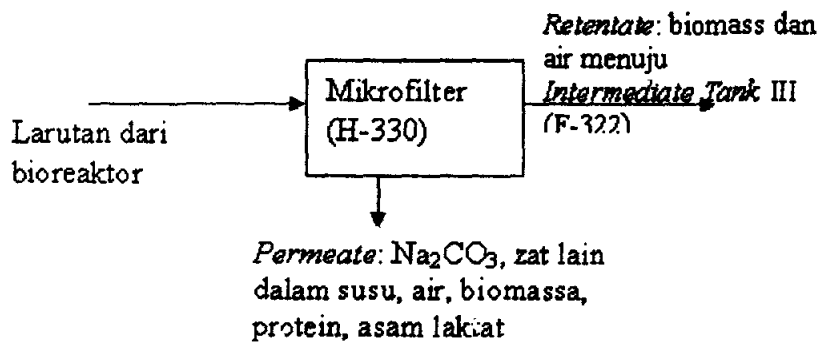
- Air = (2.509,1388 + 18,9810 kmol) x 18 kg/kmol + 3.155,4218 kg
= 47.358,5557 kg
- Protein = 1.650,8366 kg
- Zat lain = 2.166,7230 kg
- Asam laktat = 6.010,3273 + (14,4810 kmol x 180 kg/kmol)
= 8616,9073 kg

- NH_3 = $72,8003 \text{ kmol} \times 17 \text{ kg/kmol} = 1.237,6051 \text{ kg}$
- Na_2CO_3 = $500,8606 \text{ kg}$
- CO_2 = $1,2598 \text{ kmol} \times 44 \text{ kg/kmol} = 55,4312 \text{ kg}$
- Biomassa = $5.008,6061 \text{ kg} + (42,1759 \text{ kmol} \times 24,2 \text{ kg/kmol})$
= $6029,2629 \text{ kg}$

F.3.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Susu	51.588,6429	Air	47.358,5557
Laktosa	2.476,2549	Protein	1.650,8366
Air	45.294,8285	Zat lain dalam susu	2.166,7230
Protein	1.650,8366	Asam laktat	8.616,9073
Zat lain	2.166,7230	NH_3	1.237,6051
Asam laktat	6.010,3273	Na_2CO_3	500,8606
Na_2O_3 dalam NH_4OH	5.008,6061	CO_2	55,4312
Na_2CO_3	500,8606	Biomassa	6029,2629
NH_3	1.352,3236		
Air	3.155,4218		
Biomassa	5.008,6061		
Jumlah	67.616,1824	Jumlah	67.616,1824

G. Mikrofilter (H-330)



G.1 Data-data

- Digunakan untuk memisahkan biomassa dari campuran yang keluar dari bioreaktor. Mikrofiltrasi dapat langsung memisahkan biomassa dari campuran, komponen selain biomassa akan lolos sebagai *permeate*. Pada proses penyaringan ini biomassa lolos sedikit melalui filter dengan rejection ratio

biomassa 1,8% dan air sedikit tertahan pada filter dengan rejection ratio air 1% [41].

G.2 Perhitungan

G.2.1 Komponen yang masuk

- Air = 47.358,5557 kg
- Biomassa = 6.029,2629 kg
- Protein = 1.650,8366 kg
- Asam laktat = 8.616,9073 kg

G.2.2 Komponen yang keluar

Tertahan pada filter (*retentate*):

- biomassa = 98,2% x 6.029,2629 kg = 5920,7362 kg
- air = 1% x 47.358,5557 kg = 473,5856 kg

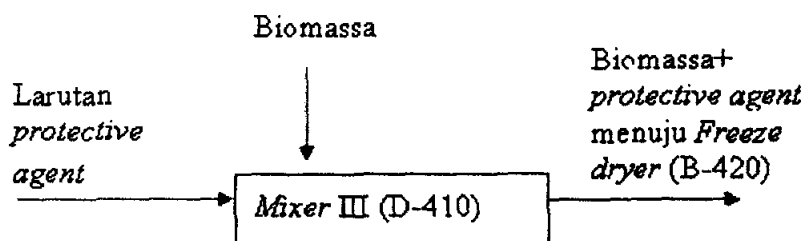
Melewati filter (*permeate*):

- Air = 47.358,5557 - 473,5856 = 46.884,9701 kg
- Asam laktat = 8.616,9073 kg
- Protein = 1.650,8366 kg
- Biomassa = 6.029,2629 - 5920,7362 = 108,5267 kg

G.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Protein	1.650,8366	<i>Retentate</i>	6.394,3217
Biomassa	6.029,2629	Biomassa	5920,7362
Na ₂ CO ₃	500,8606	Air	473,5856
Zat lain	2.166,7230	<i>Permeate</i>	59.928,8244
Asam laktat	8.616,9073	Na ₂ CO ₃	500,8606
Air	47.358,5557	Zat lain	2166,7230
		Biomassa	108,5267
		Protein	1.650,8366
		Air	46.884,9701
		Asam laktat	8.616,9073
Total	66.323,1461	Total	66.323,1461

H. Mixer III (D-410)



H.1 Data-data

- Digunakan untuk mencampur biomassa dengan larutan *protective agent* dari Mixer II (D-230).

H.2 Perhitungan

H.2.1 Komponen yang masuk

- biomassa = 5.920,7362 kg
- air = 473,5856 kg
- larutan *protective agent* = 66.047,487 kg

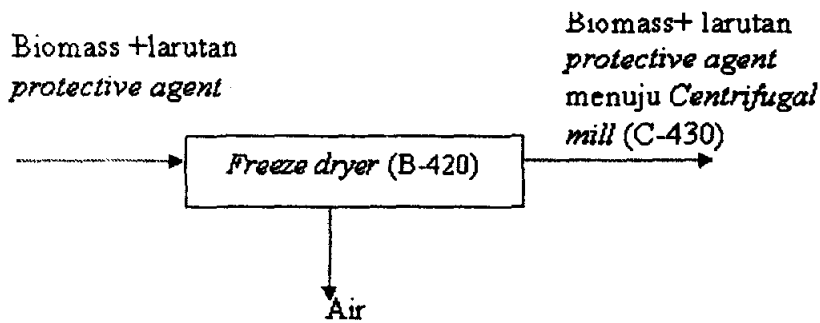
H.2.2 Komponen yang keluar

- Campuran biomassa dan *protective agent* = 72.441,8088 kg

H.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Biomassa	5.920,7362	Campuran	72.441,8088
Air	473,5856	Biomassa	5920,7362
<i>Protective agent</i>	66.047,4870	Asam askorbat	150,2582
Asam askorbat	150,2582	Susu skim	14.024,0971
Susu skim	14.024,0971	Sukrosa	2.003,4424
Sukrosa	2.003,4424	Air	50.343,2749
Air	49.869,6893		
Jumlah	72.441,8088	Jumlah	72.441,8088

I. *Freeze dryer* (B-420)



I.1 Data-data

- Pada proses *drying* sisa kandungan air di dalam bahan menjadi 5 % dari massa air mula-mula bahan [42].

I.2 Perhitungan

I.2.1 Komponen yang masuk

- Campuran larutan :
 - air = 50.343,2749 kg
 - susu skim = 14.024,0971 kg
 - sukrosa = 2.003,4424 kg
 - asam askorbat = 150,2582 kg
 - biomassa = 5.920,7362 kg

I.2.2 Komponen yang keluar

- Campuran larutan
 - air = $5\% \times 50.343,2749 \text{ kg} = 2.517,1637 \text{ kg}$
 - susu skim = 14.024,0971 kg
 - sukrosa = 2.003,4424 kg
 - asam askorbat = 150,2582 kg
 - Biomassa = 5.920,7362 kg
- Uap air = $95\% \times 50.343,2749 \text{ kg} = 47.826,1112 \text{ kg}$

I.2.3 Neraca massa

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Campuran	72.441,8088	Campuran	24.615,6976
Biomassa	5920,7362	Biomassa	5920,7362
Asam askorbat	150,2582	Asam askorbat	150,2582
Susu skim	14.024,0971	Susu skim	14.024,0971
Sukrosa	2.003,4424	Sukrosa	2.003,4424
Air	50.343,2749	Air	2.517,1637
		Air yang menguap	47.826,1112
Jumlah	72.441,8088	Jumlah	72.441,8088

APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Perhitungan neraca panas didasarkan pada suhu basis = $T_{ref} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Data-data yang diperlukan:

1) Panas yang hilang dari sistem diasumsi sebesar 5% dari panas yang disuplai dari luar (*steam*)

2) *Specific heat capacity* (C_p) komponen:

➤ susu sapi = 3,93 kJ/kg K [43]

➤ asam laktat = 0,5872 cal/g $^{\circ}\text{C}$ = 2,4568 kJ/kg [44]

➤ *refrigerant* R407C = 1,51 kJ/kg K [45]

➤ ammonium hidroksida (NH_4OH) = 110,7 J/mol K . (1/35) mol/gr
= 3,1630 J/ gr K = 3,1630 kJ/ kg K

dihitung dengan menggunakan energi ikatan [46],

-H = 14,6 J/mol K

-N = 8,4 J/mol K

-OH = 43,9 J/mol K

$C_p \text{ NH}_4\text{OH} = 4 (14,6) + (8,4) + (43,9)$

= 110,7 J/mol K . (1/35) mol/gr = 3,163 J/ gr K = 3,1630 kJ/ kg K

➤ natrium karbonat (Na_2CO_3) = 2,99 J/mol K = 2,9322 kJ/kg K [27]

➤ susu skim = 0,3 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$ = 1,2552 kJ/kg K [47]

➤ sukrosa = 0,301 cal/g $^{\circ}\text{C}$ = 1,2594 kJ/kg K [27]

➤ asam askorbat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) = 228,3230 J/mol. K = 1,2973 kJ/kg K [44]

➤ biomassa ($\text{CH}_{1,64}\text{O}_{0,52}\text{N}_{0,16}$) , didekati dengan *Kopp's rule* [48]:

C = 1,8; H = 2,3; O = 4,0; N = 6,2

$C_p \text{ biomassa} = 1,8 \times 1 + 2,3 \times 1,64 + 4,0 \times 0,52 + 6,2 \times 0,16$

= 8,644 kkal/kmol $^{\circ}\text{C}$

= 0,0362 kJ/mol $^{\circ}\text{C}$ = 1,4959 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$

3) Panas kelarutan komponen

➤ Na_2CO_3 = 5,57 kcal/mol = 5570 cal/mol [27]
= 23304,88 kJ/mol \times 12,3457 (endotermis)

$$= 287.714,5733 \text{ kJ}$$

- Panas kelarutan susu skim tidak dihitung karena susu skim dan air membentuk suspensi.
- Panas kelarutan sukrosa = $-1,3190 \text{ cal/mol} = -5,5187 \text{ kJ/mol}$ [27]
- Panas kelarutan asam askorbat didekati dengan panas kelarutan asam sitrat karena kemiripan sifat dan berat molekul (asam askorbat $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, asam sitrat $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) = $-5,4010 \text{ cal/mol} = -22,5978 \text{ kJ/mol}$ [27]

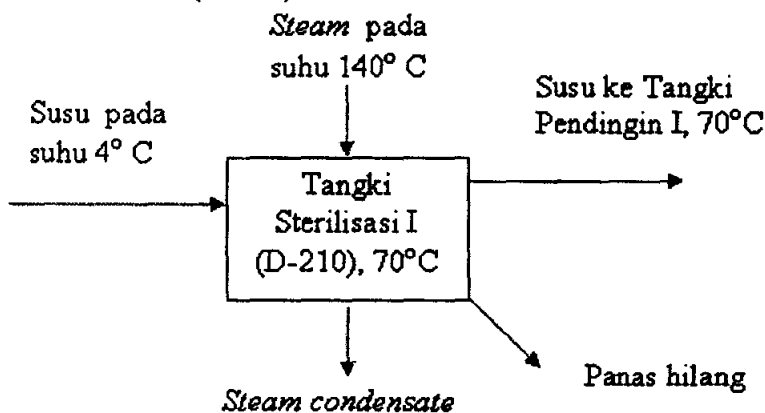
4) Panas pembentukan komponen

- ΔH_f° laktosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) = $-1.223,83 \text{ kcal/kg} = -5.120,5047 \text{ kJ/kg}$ [27]
- ΔH_f° air (H_2O) = $-3.795,41 \text{ kcal/kg} = -241,8 \text{ kJ/mol} = -15.879,9954 \text{ kJ/kg}$ [44]
- ΔH_f° $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ = $-1.385,50 \text{ kcal/kg} = -5.796,93 \text{ kJ/kg} -1.043.447,76 \text{ kJ/mol}$ [27]
- ΔH_f° NH_4OH = $-361,2 \text{ kJ/mol}$ [44]
- ΔH_f° NH_3 = $-49,5 \text{ kJ/mol}$ [44]
- ΔH_f° asam laktat ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$) = -621 kJ/mol [44]

5) Panas pembakaran komponen

- glukosa, $H_{c,s} = -2,805 \text{ kJ/mol}$ [27]
- ammonia (NH_3), $H_{c,A} = -382,6 \text{ kJ/mol}$ [44]

A. Tangki sterilisasi I (D-210)



Bahan masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Susu sapi 4°C	51.588,6429	Susu sapi 70°C	51.588,6429
Jumlah	51.588,6429	Jumlah	51.588,6429

Data

C_p susu = 3,93 kJ/kg K

Asumsi panas hilang = 5% x Q_{steam}

A.1 Panas Masuk

$$\Delta H_{masuk} = (m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{susu}$$

$$\Delta H_{masuk} = 51.588,6429 \text{ kg/hari} \times 3,93 \text{ kJ/kg K} \times (277-298) \text{ K}$$

$$\Delta H_{masuk} = -4.257.610,6989 \text{ kJ/hari}$$

A.2 Panas Keluar

$$\text{Massa susu masuk} = \text{massa susu keluar} = 51.588,6429 \text{ kg}$$

$$\Delta H_{keluar} = (m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{susu}$$

$$\Delta H_{keluar} = 51.588,6429 \text{ kg/hari} \times 3,93 \text{ kJ/kg K} \times (343-298) \text{ K}$$

$$\Delta H_{keluar} = 9.123.451,4976 \text{ kJ/hari}$$

A.3 Neraca panas

$$Q_{steam} + \Delta H_{susu \text{ masuk}} = \Delta H_{susu \text{ keluar}} + \text{panas hilang}$$

$$Q_{steam} = \Delta H_{susu \text{ keluar}} + \text{panas hilang} - \Delta H_{masuk}$$

$$Q_{steam} = \Delta H_{susu \text{ keluar}} + 5\% \times Q_{steam} - \Delta H_{susu \text{ masuk}}$$

$$0,95 Q_{steam} = \Delta H_{susu \text{ keluar}} - \Delta H_{susu \text{ masuk}}$$

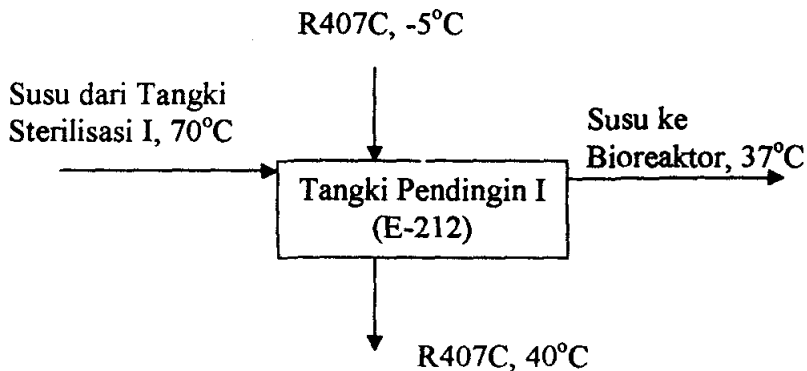
$$0,95 Q_{steam} = 9.123.451,4976 - (-4.257.610,6989)$$

$$Q_{steam} = 14.085.328,6279 \text{ kJ/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Susu	-4.257.610,6989	Susu	9.123.451,4976
Steam	14.085.328,6279	Panas hilang	704.266,4314
Jumlah	9.827.717,9290	Jumlah	9.827.717,9290

B. Tangki Pendingin I (E-212)

Berfungsi untuk mendinginkan susu

**Bahan masuk**

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Susu sapi 70°C	51.588,6429	Susu sapi 37°C	51.588,6429
Jumlah	51.588,6429	Jumlah	51.588,6429

Data

C_p susu = 3,93 kJ/kg K

Refrigerant yang dipakai adalah R407C

B.1 Panas Masuk

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ susu} &= (m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{susu}} \\
 &= 51.588,6429 \text{ kg/hari} \times 3,93 \text{ kJ/kg K} \times (343-298) \text{ K} \\
 &= 9.123.451,4976 \text{ kJ/hari}
 \end{aligned}$$

B.2 Panas keluar

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ susu} &= (m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{susu}} \\
 &= 51.588,6429 \text{ kg/hari} \times 3,93 \text{ kJ/kg K} \times (310-298) \text{ K} \\
 &= 2.432.920,3994 \text{ kJ/hari}
 \end{aligned}$$

B.3 Neraca Panas

Panas masuk = panas keluar + panas yang diserap oleh *refrigerant*

$$9.123.451,4976 \text{ kJ/hari} = 2.432.920,3994 + \text{panas yang diserap } \textit{refrigerant} \text{ (cooling load)}$$

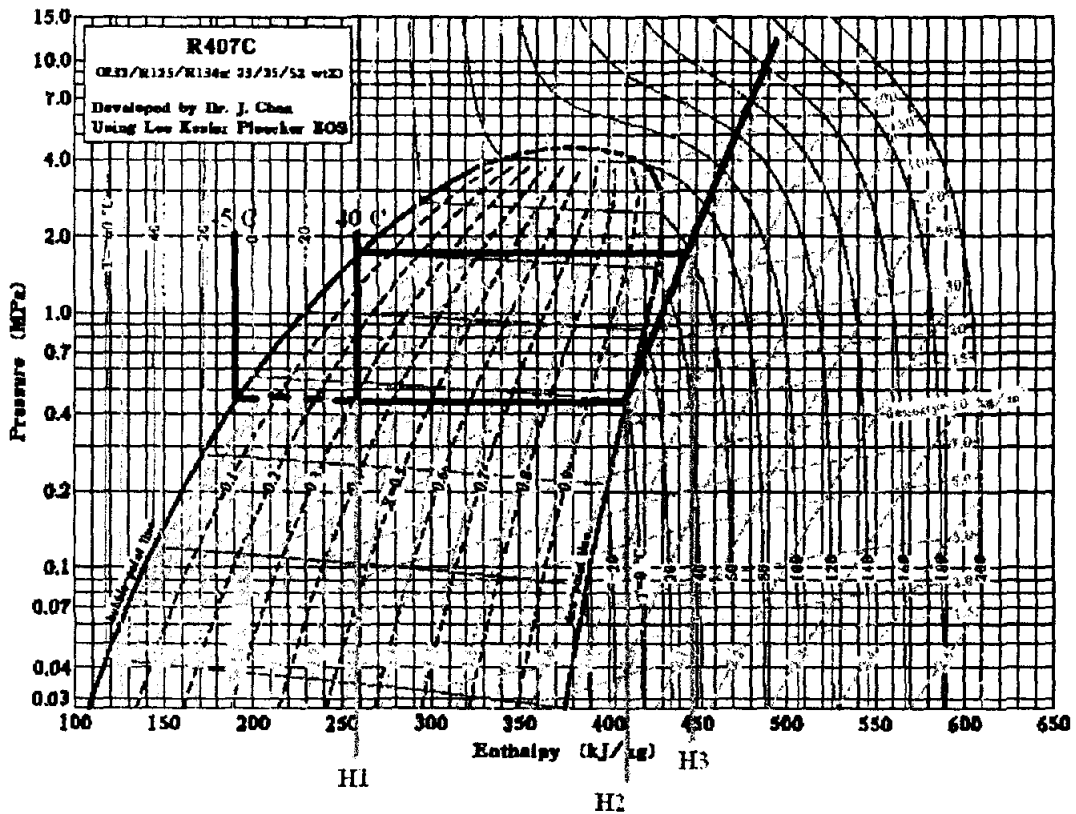
$$\text{Cooling load} = 6.690.531,098 \text{ kJ/hari}$$

Massa *refrigerant* yang dipakai dicari dengan menggunakan persamaan:

$$m = \frac{q}{(H_2 - H_1)}$$

di mana q adalah total *cooling load* (kJ/s), H_1 adalah entalpi *saturated liquid refrigerant*, dan H_2 adalah entalpi vapor *refrigerant*.

H_1 dan H_2 dicari dengan menggunakan diagram P vs entalpi untuk *refrigerant* R407C.



Pressure-enthalpy diagram untuk R407C [49]

Dari P-H diagram didapat $H_1 = 254$ kJ/kg dan $H_2 = 416$ kJ/kg

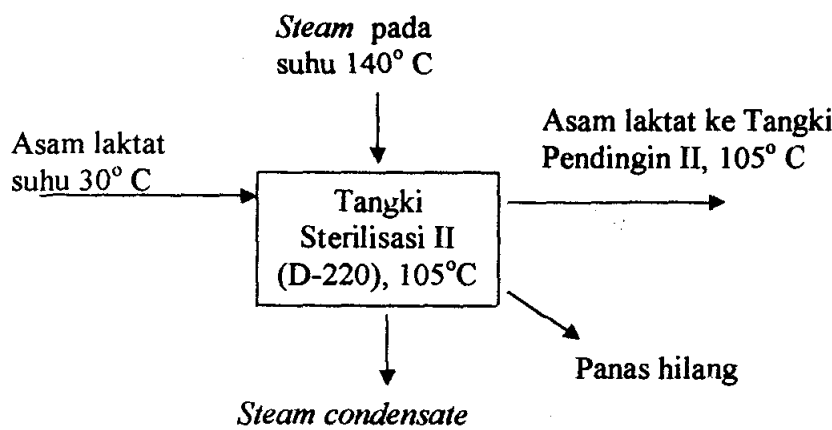
Cooling load = 6.690.531,098 kJ/hari = 77,436 kJ/s

$$m = \frac{q}{(H_2 - H_1)} = \frac{77,436}{(416 - 254)} = 0,478 \text{ kg/s} = 41.299,575 \text{ kg/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Susu sapi	9.123.451,497	Susu sapi	2.432.920,3994
		R407C	6.690.531,098
Jumlah	9.123.451,497	Jumlah	9.123.451,497

C. Tangki sterilisasi II (D-220)

Berfungsi untuk sterilisasi asam laktat



Bahan masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Asam laktat 30°C	6.010,3273	Asam laktat 105°C	6.010,3273
Jumlah	6.010,3273	Jumlah	6.010,3273

Data

Cp asam laktat = 2,4568 kJ/kg K

Asumsi panas hilang = 5% x Q steam

C.1 Panas Masuk

$$\Delta H \text{ asam laktat} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam laktat}}$$
$$= 6.010,3273 \text{ kg} \times 2,4568 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K}$$
$$= 73.832,2072 \text{ kJ}$$

C.2 Panas Keluar

$$\Delta H \text{ asam laktat} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam laktat}}$$
$$= 6.010,3273 \text{ kg} \times 2,4568 \text{ kJ/kg K} \times (378-298) \text{ K}$$

$$= 1.181.315,3155 \text{ kJ}$$

C.3 Neraca Panas

$$Q_{\text{steam}} + \Delta H \text{ asam laktat masuk} = \Delta H \text{ asam laktat keluar} + \text{panas hilang}$$

$$Q_{\text{steam}} = \Delta H \text{ asam laktat keluar} + \text{panas hilang} - \Delta H \text{ asam laktat masuk}$$

$$Q_{\text{steam}} = \Delta H \text{ asam laktat keluar} + 5\% \times Q_{\text{steam}} - \Delta H \text{ asam laktat masuk}$$

$$0,95 Q_{\text{steam}} = \Delta H \text{ asam laktat keluar} - \Delta H \text{ asam laktat masuk}$$

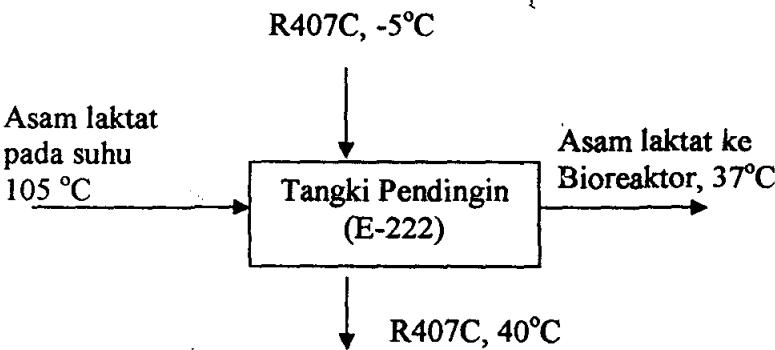
$$0,95 Q_{\text{steam}} = 1.181.315,3155 - 73.832,2072$$

$$Q_{\text{steam}} = 1.165.771,6929 \text{ kJ/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Asam laktat	73.832,2072	Asam laktat	1.181.315,3155
Q steam	1.165.771,6929	Panas hilang	58.288,5846
Jumlah	1.239.603,9001	Jumlah	1.239.603,9001

D. Tangki Pendingin II (E-222)

Berfungsi untuk mendinginkan asam laktat



Bahan yang masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Asam laktat 105°C	6.010,3273	Asam laktat 37°C	6.010,3273
Jumlah	6.010,3273	Jumlah	6.010,3273

Data

Cp asam laktat = 2,4568 kJ/kg K

Refrigerant yang dipakai adalah R407C

D.1 Panas Masuk

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ asam laktat} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam laktat}} \\
 &= 6.010,3273 \text{ kg} \times 2,4568 \text{ kJ/kg K} \times (378-298) \text{ K} \\
 &= 1.181.315,3155 \text{ kJ/hari}
 \end{aligned}$$

D.2 Panas keluar

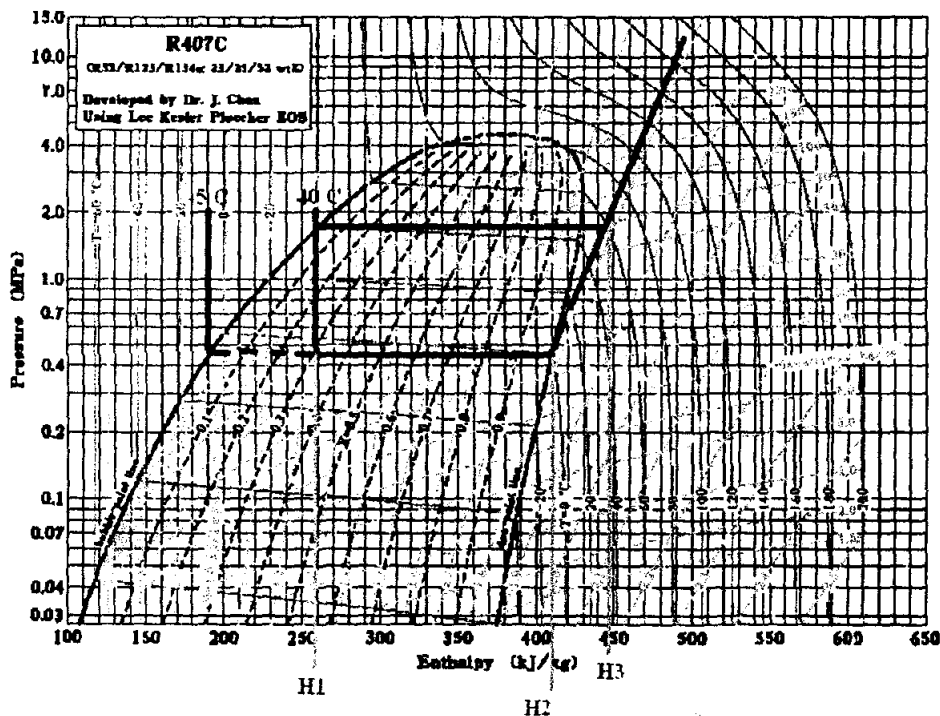
$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ asam laktat} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam laktat}} \\
 &= 6.010,3273 \text{ kg} \times 2,4568 \text{ kJ/kg K} \times (310-298) \text{ K} \\
 &= 177.197,2973 \text{ kJ/hari}
 \end{aligned}$$

D.3 Neraca Panas

$$\text{Panas masuk} = \text{panas keluar} + \text{cooling load}$$

$$1.181.315,3155 = 177.197,2973 + \text{cooling load}$$

$$\text{Cooling load} = 1.004.118,0182 \text{ kJ/hari}$$



Pressure-enthalpy diagram untuk R407C [49]

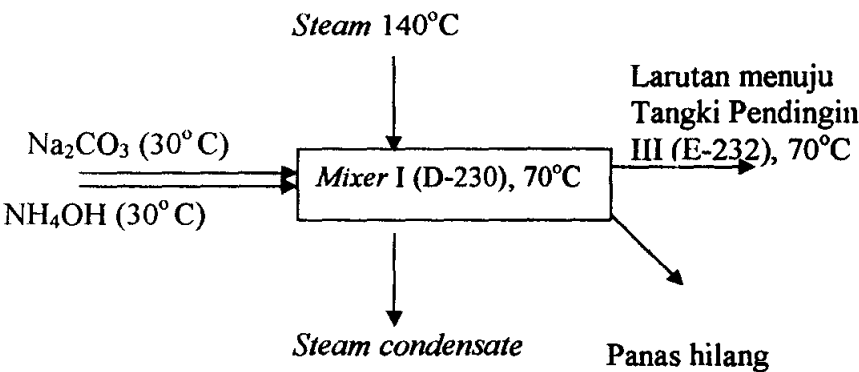
Dari P-H diagram didapat $H_1 = 254 \text{ kJ/kg}$ dan $H_2 = 416 \text{ kJ/kg}$

$$\text{Cooling load} = 1.004.118,0182 \text{ kJ/hari} = 11,6217 \text{ kJ/s}$$

$$m = \frac{q}{(H_2 - H_1)} = \frac{11,6217}{(416 - 254)} = 0,0717 \text{ kg/s} = 6.198,2594 \text{ kg/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Asam laktat	1.181.315,3155	Asam laktat	177.197,2973
		R407C	1.004.118,0182
Jumlah	1.181.315,3155	Jumlah	1.181.315,3155

E. Mixer I (D-230)



Bahan yang masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
NH ₄ OH 30°C	4.507,7455	Larutan 70°C	5.008,6061
NH ₃	1.352,3236	NH ₄ OH	4.507,7455
Air	3.155,4218	NH ₃	1.352,3236
Na ₂ CO ₃	500,8606	Air	3.155,4218
		Na ₂ CO ₃	500,8606
Jumlah	5.008,6061	Jumlah	5.008,6061

Data

- Panas kelarutan Na₂CO₃ = 287.714,5733 kJ
- Cp Na₂CO₃ = 2,99 kJ/kg K [27]
- Cp NH₄OH yang berbentuk liquid dihitung dengan menggunakan energi ikatan [46]:
 - H = 14,6 J/mol K
 - N = 8,4 J/mol K
 - OH = 43,9 J/mol K

$$C_p \text{ NH}_4\text{OH} = 4 (14,6) + (8,4) + (43,9)$$

$$= 110,7 \text{ J/mol K} \cdot (1/35) \text{ mol/gr} = 3,163 \text{ J/ gr K} = 3,163 \text{ kJ/ kgK}$$

➤ Asumsi panas hilang sebesar 5% dari Q_{steam}

E.1 Panas masuk

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{natrium karbonat}} \\ &= 500,8606 \text{ kg} \times 2,99 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 7.487,8661 \text{ kJ/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ NH}_4\text{OH} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{ammonium hidroksida}} \\ &= 4.507,7455 \text{ kg} \times 3,163 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 71.289,9950 \text{ kJ/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta H \text{ masuk} &= \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \Delta H \text{ NH}_4\text{OH} \\ &= 7.487,8661 + 71.289,9950 \\ &= 78.777,8612 \text{ kJ/hari} \end{aligned}$$

E.2 Panas Keluar

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{natrium karbonat}} \\ &= 500,8606 \text{ kg} \times 2,99 \text{ kJ/kg K} \times (343-298) \text{ K} \\ &= 67.390,7952 \text{ kJ/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ NH}_4\text{OH} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{ammonium hidroksida}} \\ &= 4.507,7455 \text{ kg} \times 3,163 \text{ kJ/kg K} \times (343-298) \text{ K} \\ &= 641.609,9552 \text{ kJ/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta H \text{ keluar} &= \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \Delta H \text{ NH}_4\text{OH} \\ &= 67.390,7952 \text{ kJ/ hari} + 641.609,9552 \text{ kJ/hari} \\ &= 709.000,7504 \text{ kJ/hari} \end{aligned}$$

E.3 Neraca Panas

Panas masuk = panas keluar + panas hilang

$$\Delta H \text{ masuk} + Q_{\text{steam}} = \Delta H \text{ keluar} + \text{panas kelarutan} + 5\% Q_{\text{steam}}$$

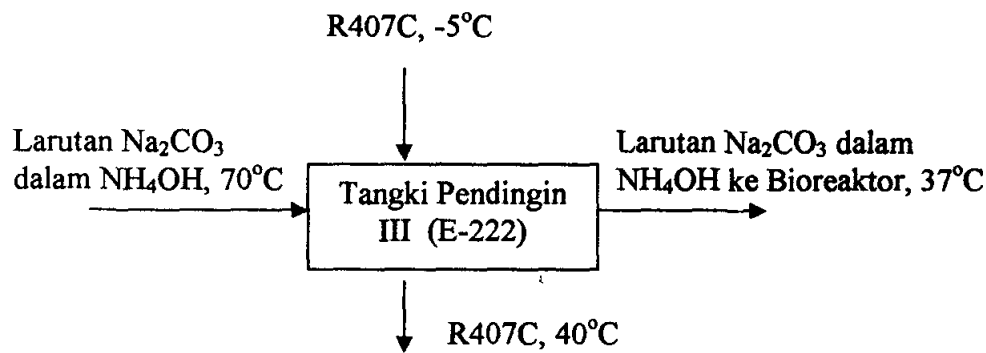
$$78.777,8612 + 95\% Q_{\text{steam}} = 709.000,7504 + 287.714,5733$$

$$Q_{\text{steam}} = 966.249,9606 \text{ kJ/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Na ₂ CO ₃	7.487,8661	Na ₂ CO ₃	67.390,7952
NH ₄ OH	71.289,9950	NH ₄ OH	641.609,9552
Q steam	966.249,9606	Panas kelarutan	287.714,5733
		Panas hilang	48.312,4980
Jumlah	1.045.027,8217	Jumlah	1.045.027,8217

F. Tangki Pendingin III (E-232)

Berfungsi untuk mendinginkan larutan Na₂CO₃ dalam NH₄OH



Bahan masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Larutan 70°C	5.008,6061	Larutan 37°C	5.008,6061
NH ₄ OH	4.507,7455	NH ₄ OH	4.507,7455
NH ₃	1.352,3236	NH ₃	1.352,3236
Air	3.155,4218	Air	3.155,4218
Na ₂ CO ₃	500,8606	Na ₂ CO ₃	500,8606
Jumlah	5.008,6061	Jumlah	5.008,6061

Data

- Cp Na₂CO₃ = 2,99 kJ/kg K [27]
- Cp NH₄OH = 3,163 J/ gr K =3,163 kJ/ kg K
- Cp R407C = 1,51 kJ/kg K

F.1 Panas masuk

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{natrium karbonat}} \\ &= 500,8606 \text{ kg} \times 2,99 \text{ kJ/kg K} \times (343-298) \text{ K} \\ &= 67.390,7952 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NH}_4\text{OH} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{ammonium hidroksida}} \\ &= 4.507,7455 \text{ kg} \times 3,163 \text{ kJ/kgK} \times (343-298) \text{ K} \\ &= 641.609,9552 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } \Delta H \text{ masuk} &= \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \Delta H \text{ NH}_4\text{OH} \\ &= 67.390,7952 \text{ kJ/ hari} + 641.609,9552 \text{ kJ/hari} \\ &= 709.000,7504 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

F.2 Panas keluar

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{natrium karbonat}} \\ &= 500,8606 \text{ kg} \times 2,99 \text{ kJ/kg K} \times (310-298) \text{ K} \\ &= 17.970,8787 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NH}_4\text{OH} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{ammonium hidroksida}} \\ &= 4.507,7455 \text{ kg} \times 3,163 \text{ kJ/kg K} \times (310-298) \text{ K} \\ &= 171.095,9881 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

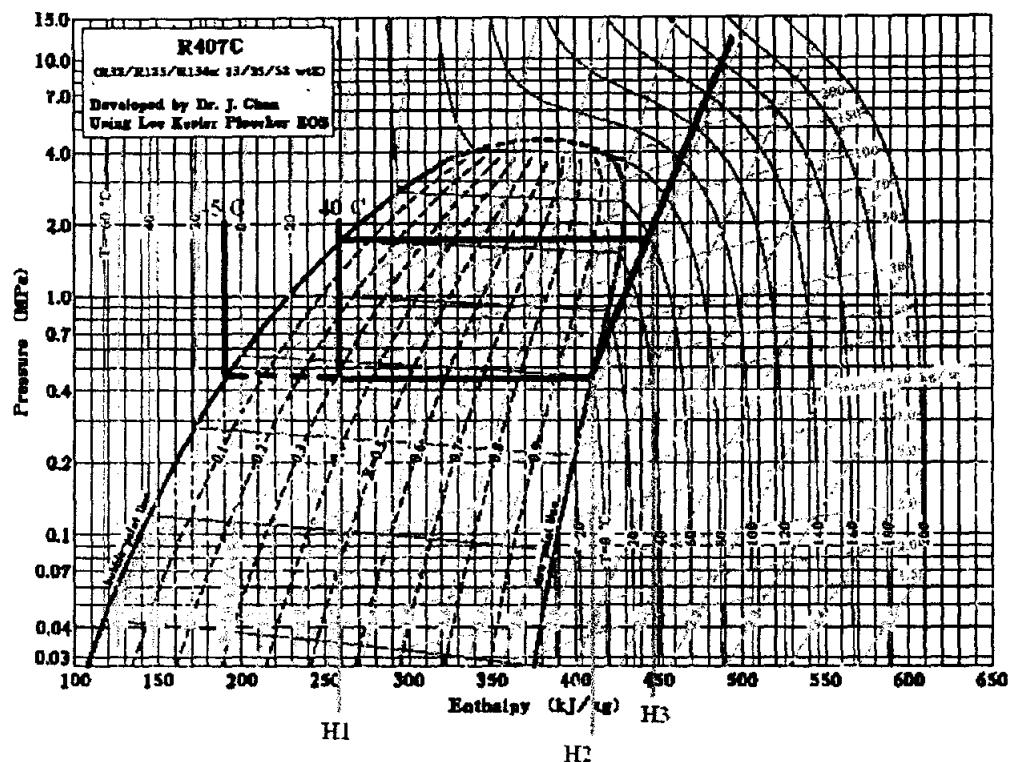
$$\begin{aligned}\text{Total } \Delta H \text{ keluar} &= \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \Delta H \text{ NH}_4\text{OH} \\ &= 17.970,8787 \text{ kJ/ hari} + 171.095,9881 \text{ kJ/hari} \\ &= 189.066,8668 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

F.3 Neraca panas

$$\text{Panas masuk} = \text{panas keluar} + \text{cooling load}$$

$$709.000,7504 = 189.066,8668 + \text{cooling load}$$

$$\text{Cooling load} = 519.933,8836 \text{ kJ/hari}$$



Pressure-enthalpy diagram untuk R407C [49]

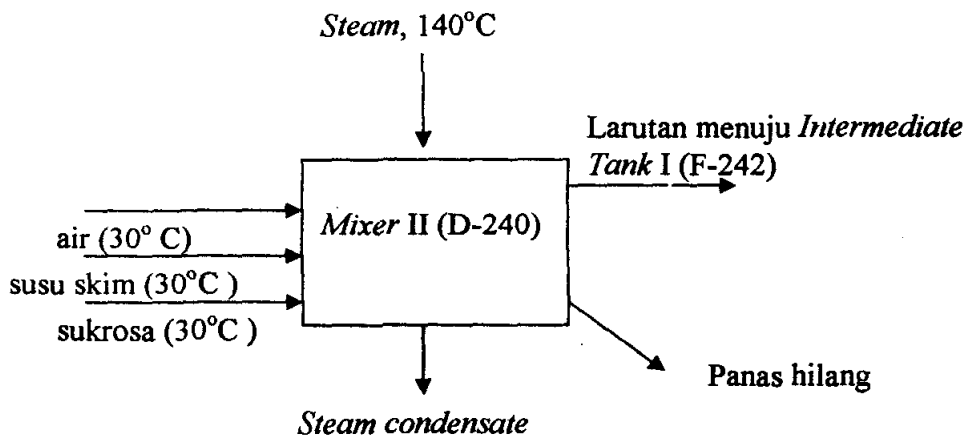
Dari P-H diagram didapat $H_1 = 254 \text{ kJ/kg}$ dan $H_2 = 416 \text{ kJ/kg}$

Cooling load = 519.933,8836 kJ/hari = 6,0178 kJ/s

$$m = \frac{q}{(H_2 - H_1)} = \frac{6,0178}{(416 - 254)} = 0,0371 \text{ kg/s} = 3.209,4684 \text{ kg/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Na ₂ CO ₃	67.390,7952	Na ₂ CO ₃	17.970,8787
NH ₄ OH	641.609,9552	NH ₄ OH	171.095,9881
		R407C	519.933,8836
Jumlah	709.000,7504	Jumlah	709.000,7504

G. Mixer II (D-240)



Keterangan

Mixer II digunakan untuk mencampur bahan-bahan *protective agent* (air, susu skim, dan sukrosa) dalam suhu ruang selama 30 menit dalam kondisi isothermal, kemudian dilanjutkan dengan sterilisasi panas pada suhu 105°C menggunakan *steam*. Asam askorbat tidak dicampurkan terlebih dahulu karena disterilisasi sendiri menggunakan proses filtrasi karena asam askorbat rusak pada suhu tinggi.

Untuk proses mixing

Bahan yang masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Air 30°C	49.869,6893	Larutan (30,1413°C)	65.897,2288
Sukrosa 30°C	2.003,4424	Air	49.869,6893
Susu skim 30°C	14.024,0971	Sukrosa	2.003,4424
		Susu skim	14.024,0971
Jumlah	65.897,2288	Jumlah	65.897,2288

Data

- Panas kelarutan susu skim tidak dihitung karena susu skim dan air membentuk suspensi.
- Panas kelarutan sukrosa = -5,5187 kJ/mol
- Panas hilang sebesar 5% dari *Q steam*

G.1 Panas masuk

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ susu skim} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}} \\ &= 14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 88.015,2334 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ sukrosa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}} \\ &= 2.003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 12.615,5168 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}} \\ &= 49.869,6893 \text{ kg/hari} \times 4,1840 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 1.043.273,8999 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } \Delta H \text{ masuk} &= 88.015,2334 + 12.615,6768 + 1.043.273,9000 \\ &= 1.143.904,6501 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

Mencari panas kelarutan

$$\begin{aligned}\text{Panas kelarutan total} &= \text{Panas kelarutan sukrosa} \\ &= ((2.003,4424 \text{ kg} / 342 \text{ kg/kmol}) \times 1000 \text{ mol/kmol} \times \\ &\quad 5,5187 \text{ kJ/mol}) \\ &= -32.328,6251 \text{ kJ}\end{aligned}$$

G.2 Panas Keluar

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ susu skim} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}} \\ &= 14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (T-298) \text{ K} \\ &= 17.603,0467 (T-298)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ sukrosa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}} \\ &= 2003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (T-298) \text{ K} \\ &= 2523,1354 (T-298)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}} \\ &= 49.869,6893 \text{ kg/hari} \times 4,184 \text{ kJ/kg K} \times (T-298) \text{ K} \\ &= 208.654,7800 (T-298)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total } \Delta H \text{ keluar} &= 17.603,0467 (T-298) + 2523,1354 (T-298) + 208.654,7800 (T-298) \\ &= 228.780,9621 (T-298)\end{aligned}$$

G.3 Neraca Panas

Panas masuk = panas keluar

ΔH masuk + panas kelarutan = ΔH keluar

$1.143.904,6501 + 32.328,6251 = 228.780,9621$ (T-298)

$1.176.233,2752 = 228.780,9621$ (T-298)

$T = 303,1413$ K

ΔH keluar = $228.780,9621$ (303,1369-298)

= $1.176.233,2752$ kJ

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Susu skim	88.015,2334	Larutan	1.176.233,2752
Sukrosa	12.615,5168		
Air	1.043.273,8999		
Panas kelarutan	32.328,6251		
Jumlah	1.176.233,2752	Jumlah	1.176.233,2752

*Untuk proses sterilisasi*Bahan yang masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Larutan (30,1413°C)	65.897,2288	Larutan (105°C)	65.897,2288
Air	49.869,6893	Air	49.869,6893
Sukrosa	2.003,4424	Sukrosa	2.003,4424
Susu skim	14.024,0971	Susu skim	14.024,0971
Jumlah	65.897,2288	Jumlah	65.897,2288

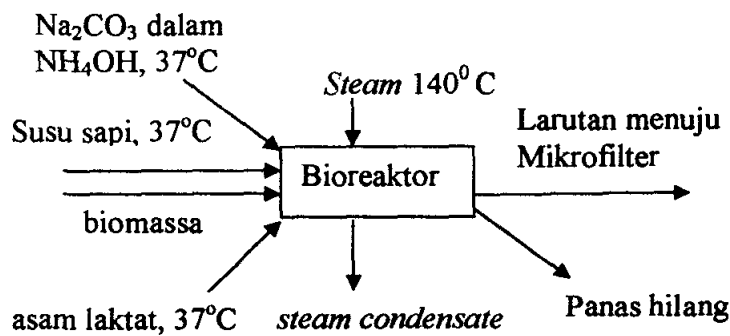
G.4 Panas masuk

ΔH susu skim = $(m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}}$
 = $14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (303,1413-298)\text{K}$
 = $90.502,6885 \text{ kJ/hari}$

ΔH sukrosa = $(m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}}$
 = $2.003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (303,1413-298)\text{K}$
 = $12.972,0520 \text{ kJ/hari}$

ΔH air = $(m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}}$
 = $49.869,6893 \text{ kg/hari} \times 4,1840 \text{ kJ/kgK} \times (303,1413-298)\text{K}$

H. Bioreaktor (R-310)



Bahan masuk

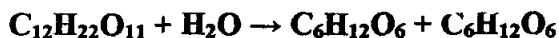
Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Susu	51.588,6429	Air	47.358,5557
Laktosa	2.476,2549	Protein	1.650,8366
Air	45.294,8285	Zat lain dalam susu	2.166,7230
Protein	1.650,8366	Asam laktat	8.616,9073
Zat lain	2.166,7230	NH ₃	1.237,6051
Asam laktat	6.010,3273	Na ₂ CO ₃	500,8606
Na ₂ O ₃ dalam NH ₄ OH	5.008,6061	CO ₂	55,4312
Na ₂ CO ₃	500,8606	Biomassa	6029,2629
NH ₃	1.352,3236		
Air	3.155,4218		
Biomassa	5.008,6061		
Jumlah	67.616,1824	Jumlah	67.616,1824

Data

- $\Delta H^{\circ}_f \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = -5.120,5047 \text{ kJ/kg}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{H}_2\text{O} = -15.879,9954 \text{ kJ/kg}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = -1.043.447,76 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{NH}_4\text{OH} = -361,2 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{NH}_3 = -49,5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H^{\circ}_f \text{CH}_3\text{CHOHCOOH} = -621 \text{ kJ/mol}$
- Panas pembakaran glukosa $H_{c,s} = -2,805\text{kJ/mol}$
- Panas pembakaran ammonia, $H_{c,A} = -382,6 \text{ kJ/mol}$
- Panas hilang sebesar 5% dari Q_{steam}

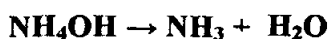
H.1 Neraca Panas

Reaksi penguraian laktosa



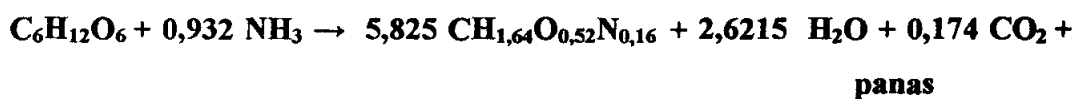
$$\begin{aligned}\Delta H_{rx} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - \Delta H (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O}) \\ &= 2 \times 1.303,2920 \text{ kg} \times -5.796,93 \text{ kJ/kg} - (2.476,2549 \text{ kg} \times -5.120,5047 \text{ kJ/kg} \\ &\quad + 45.294,8285 \text{ kg} \times -15.879,9954 \text{ kJ/kg}) \\ &= 716.851.151,8319 \text{ kJ (endotermis)}\end{aligned}$$

Reaksi penguraian NH_4OH menjadi NH_3



$$\begin{aligned}\Delta H_{rx} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H (\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}) - \Delta H \text{NH}_4\text{OH} \\ &= (-49,5 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol} + -241,8 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol}) - -361,2 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol} \\ &= 69,9 \text{ kJ (endotermis)}\end{aligned}$$

Reaksi pembentukan biomassa yang terjadi:



Panas yang dihasilkan dari pembentukan biomassa dapat dihitung sebagai berikut:

$H_{c,s} + H_{c,A} = H_{c,C} + Q_{ox}$, masing-masing dengan koefisien stoikiometrinya [40], dimana,

$H_{c,s}$ = panas pembakaran sumber karbon (glukosa)

$H_{c,A}$ = panas pembakaran sumber ammonia (NH_3)

$H_{c,C}$ = panas pembakaran biomassa, dapat dicari pada literatur atau dicari dengan menggunakan rumus RL (*reduction level*)

$$RL = \frac{2 nC + 0,5 nH - nO}{2 nC}, \quad \text{dan} \quad H_{c,C} = RL \times 460 \times nC \quad [40]$$

nC = jumlah atom karbon pada satu molekul biomassa
 nH = jumlah atom hidrogen pada satu molekul biomassa
 nO = jumlah atom oksigen pada satu molekul biomassa
 sehingga

$$RL = \frac{2 nC + 0,5 nH - nO}{2 nC} = \frac{2 \times 1 + 0,5 \times 1,64 - 0,52}{2 \times 1} = 1,15$$

$$H_{c,C} = 1,15 \times 460 \times 1 = 529 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{c,S} + 0,932 H_{c,A} = 5,825 H_{c,C} + Q_{ox}$$

$$Q_{ox} = -2,805 + 0,932 \times -382,6 - 5,825 \times 529$$

$$Q_{ox} = -3.440,8132 \text{ kJ (eksotermis)}$$

Reaksi pembentukan asam laktat



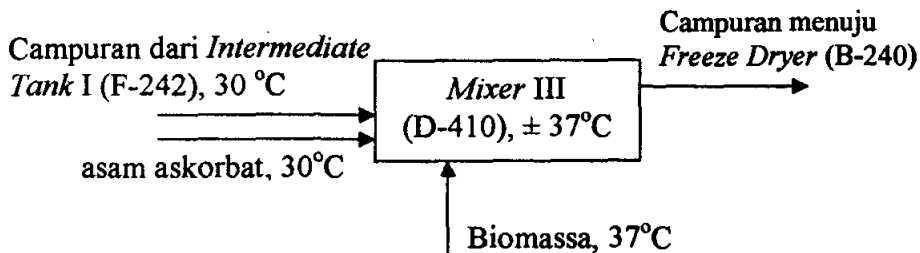
$$\begin{aligned} \Delta H_{rx} &= \Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan} \\ &= (2 \text{ mol} \times -621 \text{ kJ/mol}) - -1.043.447,76 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol} \\ &= 1.042.205,7600 \text{ kJ (eksotermis)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas reaksi total} &= \text{panas reaksi penguraian laktosa} + \text{panas reaksi penguraian} \\ &\quad NH_4OH + \text{panas pembentukan biomassa} + \text{panas} \\ &\quad \text{pembentukan asam laktat} \\ &= 716.851.151,8319 + 69,9 + - 3.440,8132 + 1.042.205,7600 \\ &= 717.889.986,6787 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{steam} \text{ yang diperlukan} &= \text{panas reaksi total} + \text{panas hilang} \\ &= 717.889.986,6787 \text{ kJ} + 5\% Q_{steam} \\ Q_{steam} &= 755.673.670,1881 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Steam	755.673.670,1881	Panas reaksi total	717.889.986,6787
		Panas hilang	37.783.683,5094
Jumlah	755.673.670,1881	Jumlah	755.673.670,1881

I. Mixer III (D-410)

Bahan yang masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Biomassa	5.920,7362	Campuran	72.441,8088
Air	473,5856	Biomassa	5920,7362
Protective agent	56.047,4870	Asam askorbat	150,2582
Asam askorbat	150,2582	Susu skim	14.024,0971
Susu skim	14.024,0971	Sukrosa	2.003,4424
Sukrosa	2.003,4424	Air	50.343,2749
Air	49.869,6893		
Jumlah	72.330,4996	Jumlah	72.441,8088

Data

- Panas kelarutan susu skim tidak dihitung karena susu skim dan air membentuk suspensi.
- Panas kelarutan sukrosa = -5,5187 kJ/mol
- Panas kelarutan asam askorbat didekati dengan panas kelarutan asam sitrat karena kemiripan sifat dan berat molekul (asam askorbat $C_6H_8O_6$, asam sitrat $C_6H_8O_7$)
= -22,5978 kJ/mol
- Cp biomassa di dekati dengan *Kopp's rule* [48]:

$$C = 1,8; H = 2,3; O = 4,0; N = 6,2$$

$$Cp \text{ biomassa} = 1,8 \times 1 + 2,3 \times 1,64 + 4,0 \times 0,52 + 6,2 \times 0,16$$

$$= 8,644 \text{ kkal/kmol}^\circ\text{C}$$

$$= 0,0362 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C} = 1,4959 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

I.1 Panas masuk

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ susu skim} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}} \\ &= 14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (303-298)\text{K} \\ &= 88.015,2334 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ sukrosa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}} \\ &= 2.003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 12.615,6768 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ asam askorbat} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}} \\ &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}} \\ &= 150,2582 \text{ kg/hari} \times 1,2973 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 974,6498 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}} \\ &= 50.343,2749 \text{ kg/hari} \times 4,184 \text{ kJ/kg K} \times (303-298) \text{ K} \\ &= 1.053.181,3110 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ biomassa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{biomassa}} \\ &= 5.920,7362 \text{ kg/hari} \times 1,4959 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (37-25)^{\circ}\text{C} \\ &= 106.281,9514 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total panas masuk} &= 88.015,2334 \text{ kJ/hari} + 12.615,6768 \text{ kJ/hari} + 974,6498 \\ &\text{ kJ/hari} + 1.053.181,311 \text{ kJ/hari} + 106.281,9514 \text{ kJ/hari} \\ &= 1.261.068,8220 \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

Mencari panas kelarutan

$$\begin{aligned}\text{Panas kelarutan total} &= (2003,4424 \text{ kg}/342 \text{ kg/kmol}) \times 1000 \text{ mol/kmol} \times -5,5187 \\ &\text{ kJ/mol} + (150,2582 \text{ kg}/176 \text{ kg/kmol}) \times 1000 \text{ mol/kmol} \times - \\ &22,5978 \text{ kJ/mol} \\ &= -51.621,2870 \text{ kJ}\end{aligned}$$

I.2 Panas Keluar

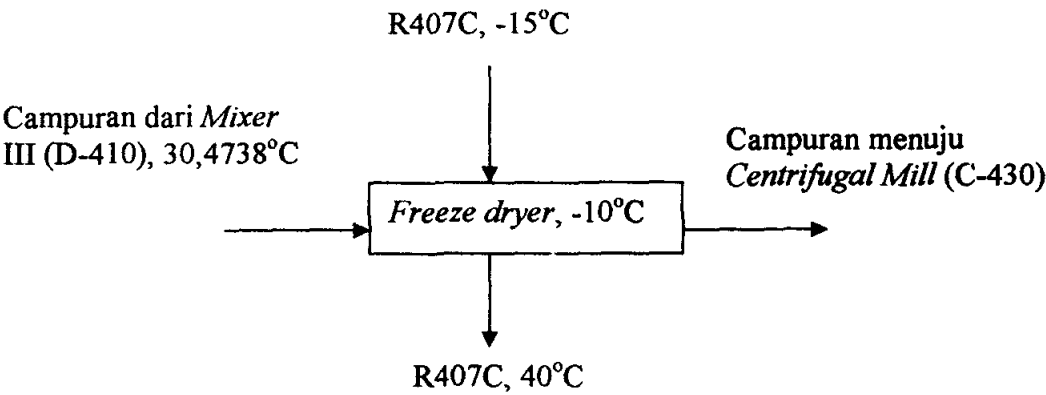
$$\begin{aligned}\Delta H \text{ susu skim} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}} \\ &= 14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (T-298)\text{K} \\ &= 17.603,0467 (T-298) \text{ kJ/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ sukrosa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}} \\ &= 2.003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (T-298) \text{ K}\end{aligned}$$

$$= 2.523,1354 (T-298) \text{ kJ/hari}$$
$$\Delta H \text{ asam askorbat} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}}$$
$$= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}}$$
$$= 150,2582 \text{ kg/hari} \times 1,2973 \text{ kJ/kg K} \times (T-298) \text{ K}$$
$$= 194,9300 (T-298) \text{ kJ/hari}$$
$$\Delta H \text{ air} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}}$$
$$= 50.343,2749 \text{ kg/hari} \times 4,1840 \text{ kJ/kg K} \times (T-298) \text{ K}$$
$$= 210.636,2622 (T-298) \text{ kJ/hari}$$
$$\Delta H \text{ biomassa} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{biomassa}}$$
$$= 5.920,7362 \text{ kg/hari} \times 1,4959 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (T-298)$$
$$= 8.856,8293 (T-298) \text{ kJ/hari}$$
$$\text{Total } \Delta H \text{ keluar} = 17.603,0467 (T-298) + 2523,1354 (T-298) + 194,9300 (T-298)$$
$$+ 210.636,2622 (T-298) + 8.856,8293 (T-298)$$
$$= 239.814,2036 (T-298)$$
$$\text{Panas masuk} = \text{panas keluar}$$
$$\Delta H \text{ masuk} + \text{panas kelarutan} = \Delta H \text{ keluar}$$
$$1.261.068,8220 + 51.621,2870 = 239.814,2036 (T-298)$$
$$1.312.690,109 = 239.814,2036 (T-298)$$
$$T = 303,4738 \text{ K}$$
$$\Delta H \text{ keluar} = 239.814,2036 \times (303,4738 - 298) \text{ kJ}$$
$$= 1.312.690,109 \text{ kJ}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Susu skim	88.015,2334	Susu skim	96.355,1990
Sukrosa	12.615,6768	Sukrosa	13.811,0872
Air	1.053.181,3110	Air	1.152.976,4870
Asam askorbat	974,6498	Asam askorbat	1.067,0038
Biomassa	106.281,9514	Biomassa	48.480,3320
Panas kelarutan	51.621,2870		
Jumlah	1.312.690,1094	Jumlah	1.312.690,1094

J. Freeze Dryer



Bahan masuk

Bahan masuk		Bahan keluar	
Komponen	Jumlah (kg/hari)	Komponen	Jumlah (kg/hari)
Campuran	72.441,8088	Campuran	24.615,6976
Biomassa	5.920,7362	Biomassa	5920,7362
Asam askorbat	150,2582	Asam askorbat	150,2582
Susu skim	14.024,0971	Susu skim	14.024,0971
Sukrosa	2.003,4424	Sukrosa	2.003,4424
Air	50.343,2749	Air	2.517,1637
		Air yang menguap	47.826,1112
Jumlah	72.441,8088	Jumlah	72.441,8088

Data

- Cp biomassa di dekati dengan *Kopp's rule* (Hougen):

$$C = 1,8; H = 2,3; O = 4,0; N = 6,2$$
$$Cp \text{ biomassa} = 1,8 \times 1 + 2,3 \times 1,64 + 4,0 \times 0,52 + 6,2 \times 0,16$$
$$= 8,644 \text{ kkal/kmol}^\circ\text{C}$$
$$= 0,0362 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C} = 1,4959 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

J.1 Panas masuk

$$\Delta H \text{ susu skim} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}}$$
$$= 14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (303,4738-298)\text{K}$$
$$= 96.355,5569 \text{ kJ/hari}$$

$$\Delta H \text{ sukrosa} = (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}}$$
$$= 2.003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (303,4738 -298) \text{ K}$$
$$= 13.811,1383 \text{ kJ/hari}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ asam askorbat} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}} \\
 &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}} \\
 &= 150,2582 \text{ kg/hari} \times 1,2973 \text{ kJ/kg K} \times (303,4738-298) \text{ K} \\
 &= 1.067,0076 \text{ kJ/hari} \\
 \Delta H \text{ air} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}} \\
 &= 50.343,2749 \text{ kg/hari} \times 4,184 \text{ kJ/kg K} \times (303,4738-298) \text{ K} \\
 &= 1.152.980,7719 \text{ kJ/hari} \\
 \Delta H \text{ biomassa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{biomassa}} \\
 &= 5.920,7362 \text{ kg/hari} \times 14,4959 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (303,4738-298) \text{ K} \\
 &= 469.796,5477 \text{ kJ/hari}
 \end{aligned}$$

$$\text{Panas masuk total} = 1.734.011,0225 \text{ kJ/hari}$$

J.2 Panas keluar

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ susu skim} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{susu skim}} \\
 &= 14.024,0971 \text{ kg/hari} \times 1,2552 \text{ kJ/kg K} \times (263-298) \text{ K} \\
 &= -616.106,6361 \text{ kJ/hari} \\
 \Delta H \text{ sukrosa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{sukrosa}} \\
 &= 2.003,4424 \text{ kg/hari} \times 1,2594 \text{ kJ/kg K} \times (263-298) \text{ K} \\
 &= -88.309,7376 \text{ kJ/hari} \\
 \Delta H \text{ asam askorbat} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}} \\
 &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{asam askorbat}} \\
 &= 150,2582 \text{ kg/hari} \times 1,2973 \text{ kJ/kg K} \times (263-298) \text{ K} \\
 &= -6.822,5623 \text{ kJ/hari} \\
 \Delta H \text{ air} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{air}} \\
 &= 50.343,2749 \text{ kg/hari} \times 4,1840 \text{ kJ/kg K} \times (263-298) \text{ K} \\
 &= -7.372.269,176 \text{ kJ/hari} \\
 \Delta H \text{ biomassa} &= (m \text{ cp } \Delta T)_{\text{biomassa}} \\
 &= 5.920,7362 \text{ kg/hari} \times 14,4959 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (263-298) \\
 &= -3.003.923,9960 \text{ kJ/hari}
 \end{aligned}$$

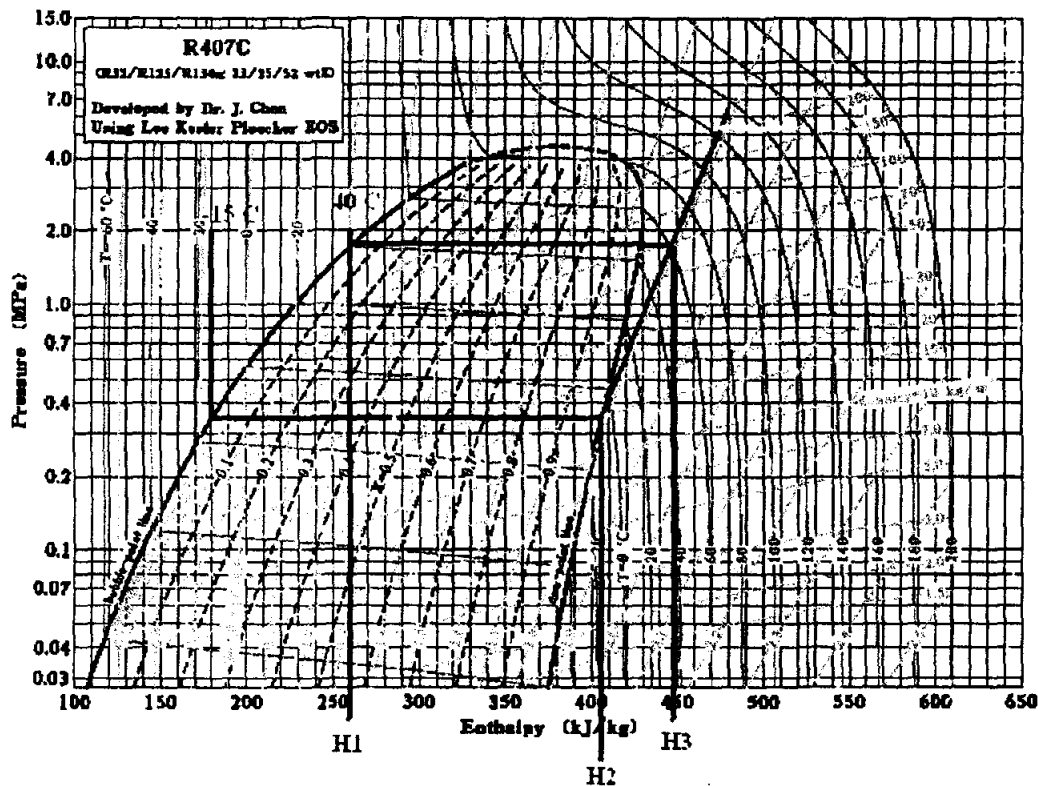
$$\text{Panas keluar total} = -11.087.432,1100 \text{ kJ/hari (eksotermis)}$$

J.3 Neraca panas

$$\text{Panas masuk} = \text{panas keluar} + \text{cooling load}$$

$1.734.011,0225 = -11.087.432,1100 + \text{cooling load}$

$\text{Cooling load} = 12.821.443,1300 \text{ kJ/hari} = 148,40 \text{ kJ/s}$



Pressure-enthalpy diagram untuk R407C [49]

Dari P-H diagram didapat $H_1 = 254 \text{ kJ/kg}$ dan $H_2 = 407 \text{ kJ/kg}$

$\text{Cooling load} = 232,075 \text{ kJ/s}$

$$m = \frac{q}{(H_2 - H_1)} = \frac{148,40}{(407 - 254)} = 0,97 \text{ kg/s} = 83.808 \text{ kg/hari}$$

Panas masuk		Panas keluar	
Komponen	Jumlah (kJ/hari)	Komponen	Jumlah (kJ/hari)
Susu skim	96.355,5569	Susu skim	-616.106,6361
Air	1.152.980,7719	Air	-7.372.269,1760
Sukrosa	13.811,1383	Sukrosa	-88.309,7376
Asam askorbat	1.067,0076	Asam askorbat	-6.822,5623
Biomassa	469.796,5477	Biomassa	-3.003.923,9960
		R407C	12.821.443,1300
Jumlah	1.734.011,0225	Jumlah	1.734.011,0225

APPENDIX C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

1. Tangki Penyimpanan I (asam laktat) (F-110)

Fungsi : Untuk menyimpan asam laktat selama 1 bulan

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas dan tutup bawah berbentuk *flat*

Kapasitas : 6.010,33 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Densitas asam laktat} &= 1,2 \text{ kg/L} = 1.200 \text{ kg/m}^3 \\ &= 74,91 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned} \quad [37]$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik} &= \frac{\text{volume asam laktat}}{\rho_{\text{asam laktat}}} = \frac{6010,33 \text{ kg / hari}}{1,2 \text{ kg / L}} \\ &= 5.008,6083 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume asam laktat untuk 1 bulan} &= 5008,6083 \text{ L/hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 150.258,249 \text{ L} = 150,2582 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume asam laktat keseluruhan mengisi 80% volume tangki, sehingga

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume asam laktat}}{80\%} \\ &= \frac{150,2582 \text{ m}^3}{0,8} \end{aligned}$$

$$= 187,8228 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{shell}}$$

$$\text{Dimana : } \frac{H_{\text{shell}}}{D_{\text{shell}}} = 2$$

$$187,8228 \text{ m}^3 = \frac{2\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^3$$

$$187,8228 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times D_{\text{shell}}^3$$

$$D_{\text{shell}} = 4,9265 \text{ m} = 193,99 \text{ in}$$

$$H_{\text{shell}} = 2 \times 193,99 \text{ in} = 387,98 \text{ in}$$

Mencari tinggi liquid dalam shell

$$\text{Volume asam laktat} = \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times H_L, \text{ dimana } H_L = \text{tinggi liquid}$$

$$150,2582 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \times 4,9265^2 \text{ m}^2 \times H_L$$

$$H_L = 7,8826 \text{ m}$$

$$= 25,8613 \text{ ft}$$

$$P \text{ hidrostatik} = \frac{\rho \times H_L}{144} \quad [29, \text{ p.46, Persm. 3.17}]$$

$$= \frac{74,913 \times 24,3401}{144} = 12,6625 \text{ psia}$$

$$P \text{ design} = 1,2 P \text{ hidrostatik} = 1,2 \times 12,6625 = 15,1950 \text{ psia}$$

Menentukan tebal shell

$$t_s = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + C \quad [29, \text{ p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

P = tekanan design = 15,1950 psia

ID = diameter *shell* = 182,5529 in

f_{ALL} = allowable stress = 23.000 lb/in²

(Stainless steel SS-316 L)

E = efisiensi sambungan = 80 % (*double welded butt joint*)

[29, p.254, Tabel 13.2]

c = corrosion allowance = 1/8 in

$$t_s = \frac{15,1950 \times 182,5529}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,2004 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 1/4 in

Menentukan tebal tutup yang berbentuk flat

Tebal tutup atas = tebal tutup bawah yang berbentuk plat

$$t_a = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + C \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

P = tekanan design = 15,1950 psia

ID = diameter *shell* = 182,5529 in

f_{ALL} = allowable stress = 23.000 lb/in²

(Stainless steel SS-316 L)

E = efisiensi sambungan = 80 %

(*double welded butt joint*)

[29, p.254, Tabel 13.2]

c = corrosion allowance = 1/8 in

$$t_a = \frac{15,1950 \times 182,5529}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,2004 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 1/4 in

Spesifikasi:

Kapasitas	= 6.010,33 kg/hari
ID _{shell}	= 193,99 in
H _{shell}	= 387,98 in
Tebal <i>shell</i>	= 1/4 in
Tebal <i>head</i>	= 1/4 in
Tebal alas	= 1/4 in
Bahan konstruksi	= <i>stainless steel</i> (SS) 316 L
Jumlah	= 1 buah

2. Tangki Penyimpanan II (NH₄OH) (F-120)

Fungsi : Untuk menyimpan NH₄OH selama 1 bulan

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas dan tutup bawah berbentuk *flat*

Kapasitas : 4.507,75 kg /hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Dengan cara yang sama pada perhitungan tangki penyimpanan asam laktat didapat spesifikasi:

Kapasitas	= 4.507,75 kg /hari
ID _{shell}	= 193,99 in

H <i>shell</i>	= 387,98 in
Tebal <i>shell</i>	= 3/16 in
Tebal <i>head</i>	= 3/16 in
Tebal alas	= 3/16 in
Bahan konstruksi	= SS-316 L
Jumlah	= 1 buah

3. Gudang bahan baku padat (X-130)

Gudang bahan baku padat terdiri atas 4 *warehouse* yaitu:

a) Natrium karbonat *warehouse*

Fungsi : Untuk menyimpan Na_2CO_3 selama 1 minggu

Tipe : Gedung dengan konstruksi beton

Kapasitas : 500,86 kg /hari

Dasar Perencanaan:

T udara = 30°C

P udara = 1 atm

Densitas Na_2CO_3 = 2,53 kg/L = 2.530 kg/m³ = 157,94 lb/ft³

Waktu penyimpanan = 30 hari

Na_2CO_3 dibeli dalam bentuk sak-sak dengan ukuran sak ,yaitu

- Panjang = 60 cm = 0,6 m
- Lebar = 40 cm = 0,4 m
- Tinggi = 10 cm = 0,1 m

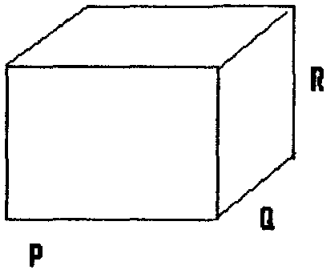
Sak disusun tidur, dengan massa 1 sak yaitu sebesar 25 kg

Jumlah Na_2CO_3 yang harus disimpan = 500,8606 kg /hari x 30 hari

$$= 15.025,82 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah sak yang harus disimpan} = \frac{15025,82 \text{ kg}}{25 \text{ kg/sak}} = 601,03 \text{ sak} = 602 \text{ sak}$$

Sak akan disusun setinggi 3 m



Sak yang akan disusun sesuai gambar diatas dengan dimensi

$$R = \frac{3 \text{ m}}{0,1 \text{ m/sak}} = 30 \text{ buah sak}$$

$$P = 5 \text{ buah sak}$$

$$Q = 600 / (5 \times 30) = 4 \text{ buah sak}$$

$$\text{Panjang warehouse} = 5 \text{ sak} \times 0,6 \text{ m/sak} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Lebar warehouse} = 4 \text{ sak} \times 0,4 \text{ m/sak} = 1,6 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi warehouse} = 3 \text{ m} + \text{ruang kosong} = 3 \text{ m} + 1 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Luas tanah} = P \times L = 3 \times 2 = 6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas dinding} &= 2 \times (PL + PT + LT) = 2 \times (3 \times 2 + 3 \times 4 + 2 \times 4) \\ &= 52 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Spesifikasi *warehouse* untuk Na_2CO_3 :

Kapasitas : 500,8606 kg /hari

Tinggi *warehouse* (T) : 4 m

Lebar *warehouse* (L) : 2 m

Panjang *warehouse* (P) : 6 m
Luas tanah : 6 m²
Luas dinding : 52 m²
Bahan konstruksi : beton
Jumlah : 1 buah

b) Susu skim *warehouse*

Fungsi: Untuk menyimpan susu skim selama 1 minggu

Tipe : Gedung dengan konstruksi beton

Kapasitas : 14.024,09 kg /hari

Dasar Perencanaan :

T udara = 30°C

P udara = 1 atm

Susu skim dibeli dalam bentuk sak-sak dengan ukuran sak, yaitu

- Panjang = 60 cm = 0,6 m
- Lebar = 40 cm = 0,4 m
- Tinggi = 10 cm = 0,1 m

Sak disusun tidur, dengan massa 1 sak yaitu sebesar 25 kg

Densitas susu skim = 1,033 kg/L = 1033 kg/m³ = 64,24 lb/ft³

Dengan cara sama pada perhitungan natrium karbonat *warehouse* didapat spesifikasi *warehouse* untuk susu skim:

Kapasitas : 14.024,09 kg /hari
Tinggi *warehouse* (T) : 4 m
Lebar *warehouse* (L) : 5 m
Panjang *warehouse* (P) : 7 m

Luas tanah	: 35 m ²
Luas dinding	: 166 m ²
Bahan konstruksi	: beton
Jumlah	: 1 buah

c) Sukrosa *warehouse*

Fungsi : Untuk menyimpan sukrosa selama 1 minggu

Tipe : Gedung dengan konstruksi beton

Kapasitas : 2.003,44 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Densitas sukrosa = $929 \text{ kg/m}^3 = 57,99 \text{ lb/ft}^3$ [37]

Dengan cara sama pada perhitungan natrium karbonat *warehouse* didapat spesifikasi *warehouse* untuk sukrosa:

Kapasitas	: 2.003,44 kg /hari
Tinggi <i>warehouse</i> (T)	: 4 m
Lebar <i>warehouse</i> (L)	: 2 m
Panjang <i>warehouse</i> (P)	: 3 m
Luas tanah	: 6 m ²
Luas dinding	: 52 m ²
Bahan konstruksi	: beton
Jumlah	: 1 buah

d) Asam askorbat *warehouse*

Fungsi : Untuk menyimpan asam askorbat selama 1 minggu

Tipe : Gedung dengan konstruksi beton

Kapasitas : 158,17 kg /hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Densitas asam askorbat = $1,65 \text{ gr/cm}^3 = 1.650 \text{ kg/m}^3 \times 1/16,0185$

$= 103,01 \text{ lb/ft}^3$ [50]

Dengan cara sama pada perhitungan natrium karbonat *warehouse* didapat spesifikasi *warehouse* untuk asam askorbat.

Kapasitas : 158,17 kg /hari

Tinggi *warehouse* (T) : 4 m

Lebar *warehouse* (L) : 1 m

Panjang *warehouse* (P) : 1 m

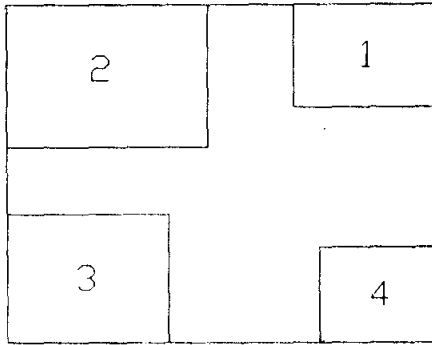
Luas tanah : 1 m^2

Luas dinding : 18 m^2

Bahan konstruksi : beton

Jumlah : 1 buah

Seluruh *warehouse* digabung menjadi satu gudang yang tampak pada Gambar C. 1.



Keterangan :

1 = Na_2CO_3 warehouse

2 = susu skim warehouse

3 = sukrosa warehouse

4 = asam askorbat warehouse

Gambar C. 1. *Layout warehouse* (skala 1:100)

Untuk keperluan jalan, transportasi, dan lain-lain maka panjang dan lebar dari gudang ditambah 5 m. Dimensi gudang mengikuti panjang dan lebar *warehouse* yang paling besar, sehingga menjadi

$$\begin{aligned}\text{Panjang gudang} &= \text{panjang warehouse 2} + \text{panjang warehouse 1} + 5 \text{ m} \\ &= 7 \text{ m} + 3 \text{ m} + 5 \text{ m} = 15 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar gudang} &= \text{warehouse 2} + \text{warehouse 3} + 5 \text{ m} \\ &= 5 + 2 + 5 = 12 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Tinggi gudang} = 4 \text{ m}$$

4. Gudang produk

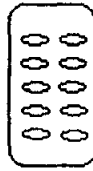
$$1 \text{ tahun} = 300 \text{ hari kerja}$$

Suhu ruangan diatur dengan *air conditioning* ($\pm 18^\circ\text{C}$)

$$\text{Produk yang akan dihasilkan dalam 1 tahun} = 12.170.912.841 \text{ kapsul}$$

$$\text{Produk yang akan dihasilkan dalam 1 hari} = 40.569.711 \text{ kapsul}$$

Kapsul akan dikemas dalam bentuk blister dengan 1 blister terdiri dari 10 kapsul (Gambar C. 2). Setelah itu blister dengan ukuran panjang 11,5 cm dan lebar 5,5 cm. tersebut akan dikemas dalam *primary packaging* yang memiliki ukuran panjang 12 cm, lebar 6 cm, dan tinggi 2 cm.



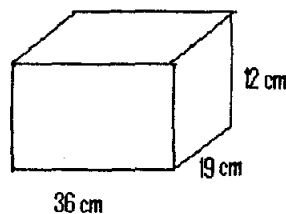
Gambar C. 2. Blister

Primary packaging terdiri dari dua blister, sehingga produk yang akan dihasilkan dalam 1 hari dalam bentuk *primary packaging* yaitu

$$= 40.569.711 / 10 = 4.056.971 \text{ blister /2}$$

$$= 2.028.485,5 \text{ buah} \approx 2.028.485 \text{ buah}$$

Primary packaging akan dikemas dalam *cardboard* dengan setiap *cardboard* terdapat 45 *primary packaging*, disesuaikan dengan ukuran *cardboard*. Ukuran *cardboard* yang digunakan yaitu panjang 36 cm, lebar 19 cm, tinggi 12 cm, mengikuti ukuran *cardboard* komersial (Gambar C.3).

Gambar C. 3. *Cardboard*

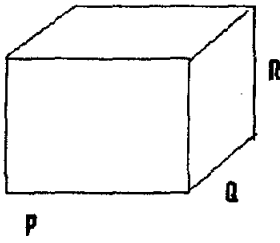
Produk yang akan dihasilkan dalam bentuk *cardboard* yaitu

$$= 2.028.486 / 45 = 45.077,467 \approx 45077 \text{ buah /hari}$$

Produk yang telah dibuat akan disimpan selama 1 minggu sehingga produk yang akan disimpan dalam bentuk *cardboard* sebanyak = 45.077 buah/hari x 7 hari

$$= 315.539 \text{ buah}$$

Cardboard akan disusun setinggi 3 m



Cardboard akan disusun sesuai gambar di atas dengan dimensi

$$R = \frac{3 \text{ m}}{0,12 \text{ m / cardboard}} = 25 \text{ buah cardboard}$$

$$P = 100 \text{ buah cardboard}$$

$$Q = 315.546 / (100 \times 25) = 126,2 \text{ cardboard} \approx 126 \text{ cardboard}$$

$$\text{Panjang gudang} = 100 \text{ buah cardboard} \times 0,36 \text{ m / buah cardboard} = 36 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar gudang} &= 126 \text{ buah cardboard} \times 0,19 \text{ m / buah cardboard} \\ &= 23,94 \text{ m} \approx 25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi gudang} = 3 \text{ m} + \text{ruang kosong} = 3 \text{ m} + 1 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

Untuk keperluan jalan, transportasi, dan lain-lain maka panjang dan lebar dari gudang ditambah 5 m, sehingga

$$\text{Panjang} = 36 \text{ m} + 5 \text{ m} = 41 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 25 + 5 \text{ m} = 30 \text{ m}$$

$$\text{Luas tanah} = P \times L = 41 \times 30 = 1230 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas dinding} &= 2 \times (PL + PT + LT) = 2 \times (41 \times 30 + 41 \times 4 + 30 \times 4) \\ &= 3028 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5. Conveyor I (J-131)

Fungsi : Untuk mengangkut Na_2CO_3 ke *Mixer I*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data:

Jumlah <i>conveyor</i>	= 1 buah
Waktu operasi	= 15 menit = 1/4 jam
Kapasitas	= 500,86 kg /hari = 2,0034 ton/jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 10 meter = 32,81 ft
Tinggi elevasi (T)	= 13,87 ft (mengikuti tinggi <i>Mixer I</i>)
Densitas Na ₂ CO ₃ (ρ)	= 157,94 lb/ft ³

Perhitungan:

$$\text{Rate volumerik } (\bar{v}) = \frac{(2,0034 \text{ ton/jam} \times 2000)}{157,94 \text{ lb/ft}^3} = 25,37 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Harga F = 1,8 [16, Tabel 5.4(b)]. Dengan harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi [16, Tabel 5.4(c)], maka

$$\omega = \bar{v} \times 50 / S = 25,37 \times 50 / 54 = 23,49 \text{ rpm}$$

Power motor yang dibutuhkan:

$$\dot{P} = \frac{[S(\omega) + F(\bar{v})(\rho)]L + 0,51(T)(30.000)}{10^6}$$

$$\dot{P} = \frac{[54.(23,49) + 1,8(25,37).(157,94)].32,81 + 0,51(13,87)(30.000)}{10^6}$$

$$= 0,49 \text{ hp}$$

Efisiensi motor 80 %

$$\text{Power motor} = \frac{0,49 \text{ hp}}{0,8} = 0,61 \text{ hp} \approx 0,85 \text{ hp}$$

Spesifikasi

Waktu operasi	= 15 menit
Panjang <i>screw</i> (L)	= 32,80 ft
Tinggi elevasi (T)	= 13,87 ft
Kapasitas	= 2,0034 ton/jam
Kecepatan (ω)	= 23,49 rpm
Power motor	= 0,85 Hp

6. *Conveyor* II (J-132)

Fungsi : Untuk mengangkut susu skim ke *Mixer* II

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data:

Jumlah <i>conveyor</i>	= 1
Kapasitas	= 14.024,09 kg /hari = 14,02 ton/jam
Waktu operasi	= 60 menit = 1 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 25 meter = 82,02 ft
Tinggi elevasi (T)	= 33,06 ft (mengikuti tinggi <i>Mixer</i> II)
Densitas susu skim (ρ)	= 64,24 lb/ft ³

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 96 dan diameter *conveyor* = 9 inchi [16, Tabel 5.4(c)].

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor* I didapat spesifikasi

Waktu operasi	= 60 menit
Panjang <i>screw</i> (L)	= 82,02 ft
Tinggi elevasi (T)	= 33,06 ft

Kapasitas	= 14,02 ton/jam
Kecepatan (ω)	= 227,42 rpm
Power motor	= 7,5 hp

7. Conveyor III (J-133)

Fungsi : Untuk mengangkut sukrosa ke *Mixer II*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data:

Jumlah	= 1 buah
Kapasitas untuk 1 <i>conveyor</i>	= 2.003,44 kg /hari = 4,0069 ton/jam
Waktu operasi	= 30 menit = 0,5 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 25 meter = 82,02 ft
Tinggi elevasi (T)	= 33,06 ft (mengikuti tinggi <i>Mixer II</i>)
Densitas sukrosa (ρ)	= 57,99 lb/ft ³

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 96 dan diameter *conveyor* = 9 inchi
[16, Tabel 5.4 (c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi

- Nama = *Screw conveyor*
- Waktu operasi = 30 menit
- Panjang *screw* (L) = 82,02 ft
- Tinggi elevasi (T) = 33,06 ft
- Kapasitas = 4,0069 ton/jam
- Kecepatan (ω) = 143,94 rpm
- Power motor = 4,87 hp

8. Conveyor IV (J-134)

Fungsi : Untuk mengangkut asam askorbat ke Filter Asam Askorbat

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data:

Jumlah = 1 buah

Kapasitas = 158,17 kg /hari = 1,89 ton/jam

Waktu operasi = 5 menit = 0,08 jam

Panjang *screw* (L) = 4 meter = 13,12 ft

Tinggi elevasi (T) = 4,92 ft (mengikuti tinggi Filter Asam Askorbat)

Densitas asam askorbat (ρ) = 103,01 lb/ft³

Harga F = 1,8 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi [16, Tabel 5.4(c)].

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor* I didapat spesifikasi

Waktu operasi = 5 menit

Panjang *screw* (L) = 13,12 ft

Tinggi elevasi (T) = 4,92 ft

Kapasitas = 1,89 ton/jam

Kecepatan (ω) = 34,12 rpm

Power motor = 0,43 hp

9. Tangki Sterilisasi I (susu sapi) (D-210)

Fungsi : Untuk sterilisasi susu sapi

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Kapasitas : 51.588,64 kg/hari.

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan untuk 1 buah tangki :

Densitas susu sapi = 1,03 kg/L = 1.030 kg/m³ x 1/16,02 = 64,3 lb/ft³

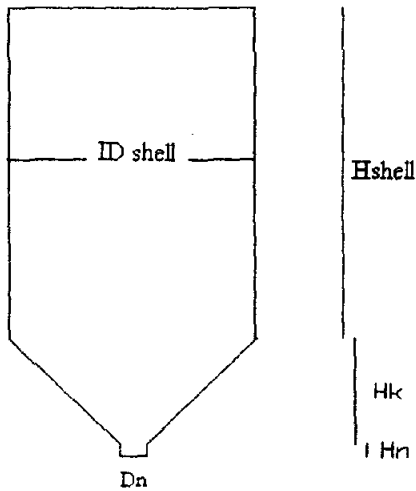
$$\begin{aligned}\text{Kecepatan volumetrik} &= \frac{\text{kapasitas susu sapi}}{\rho} = \frac{51.588,64 \text{ kg / hari}}{1,03 \text{ kg / lt}} \\ &= 50.086,06 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volum susu sapi selama 1 hari untuk 1 tangki} &= 50.086,06 \text{ L/hari} \times 1 \text{ hari} \\ &= 50.086,06 \text{ L} \\ &= 50,09 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volum susu sapi selama 1 hari untuk 1 tangki adalah 80 % volume *shell*, sehingga

$$\text{Volume 1 buah tangki} = \frac{\text{Volume susu sapi}}{80\%} = \frac{50,09 \text{ m}^3}{0,8} = 62,61 \text{ m}^3$$

Volume 1 buah tangki = volume *shell* + volume konis

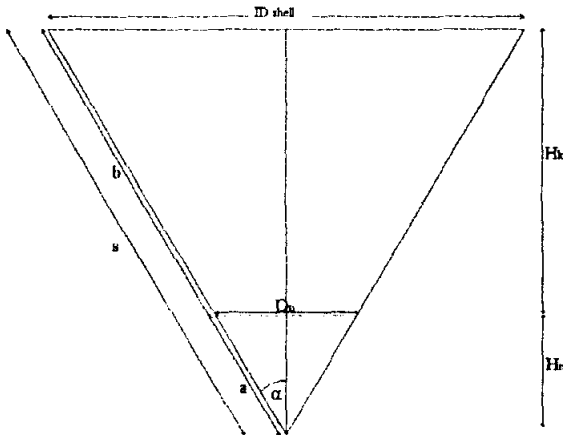


Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*
 H_{shell} = tinggi *shell*
 H_k = tinggi konis
 H_n = tinggi *nozzle*
 D_n = diameter *nozzle*

Menghitung volume *shell*

Dimana : $\frac{H_{shell}}{ID_{shell}} = 2$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga volume } shell &= \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times H_{shell} = \frac{\pi}{4} \times D_{shell}^2 \times 2 D_{shell} \\ &= \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 \end{aligned}$$

Menghitung volume konis

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^\circ$ [29, p. 96]

Diameter *nozzle* (D_n) yang pada umumnya digunakan berkisar 4 atau 8 atau 10 inchi. [29, p. 96]

D_n yang digunakan adalah 8 inchi (0,2032 m)

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{ID_{shell}}{2 \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \tan \alpha} \\ &= \frac{ID_{shell} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \end{aligned}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times \left(\frac{ID_{shell} - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \tan 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - D_n^3)$$

Volume 1 buah tangki = volume *shell* + volume konis

$$62,61 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - Dn^3)$$

$$62,61 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - 0,2032^3)$$

$$62,61 \text{ m}^3 = 1,57 ID_{shell}^3 + 0,23 ID_{shell}^3 - (1,9 \times 10^{-3})$$

$$ID_{shell} = 3,27 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} = 70,77 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 2 ID_{shell} = 2 \times 3,27 = 6,53 \text{ m}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,2}{2 \cdot \tan 30} = 0,18 \text{ m}$$

$$Hk = \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{3,27}{2 \cdot \tan 30} - 0,18$$

$$= 2,65 \text{ m}$$

$$H \text{ total} = H_{shell} + Hk = 6,53 + 2,65$$

$$= 9,19 \text{ m}$$

$$= 361,63 \text{ in}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,2}{2}\right)^2 + 0,18^2}$$

$$= 0,2 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3,27}{2}\right)^2 + (2,65 + 0,18)^2}$$

$$= 3,27 \text{ m}$$

$$b = s - a$$

$$= (3,27 - 0,2) \text{ m}$$

$$= 3,07 \text{ m}$$

Mencari tinggi liquid di dalam tangki

Volume susu sapi = V_{shell} + volume tangki

$$50,09 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^2 \times H_{Liquid} + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - Dn^3),$$

$$50,09 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times 3,27^2 \times H_{Liquid} + \frac{\pi}{24 \tan 30} (3,27^3 - 0,2^3)$$

$$H_{Liquid} = 5,04 \text{ m} = 16,53 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam tangki (ZT)} = H_{Liquid} + H_k = 5,04 + 2,65$$

$$= 7,69 \text{ m} = 25,23 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho_{\text{susu}} \times ZT}{144} \quad [29, \text{p.46, Persm. 3.17}]$$

$$= \frac{64,3 \times 25,23}{144} = 11,27 \text{ psia}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 P_{\text{hidrostatik}} = 1,2 \times 11,27 = 13,52 \text{ psia}$$

$$\text{tebal shell} = \text{tebal head} = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 13,52 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 128,59 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal shell} = \text{tebal head} = \frac{13,52 \times 128,59}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,17 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup bawah yang berbentuk konis

$$\text{tebal head} = \frac{P ID_{shell}}{2 \cdot \cos \alpha (f_{All} E - 0,6P)} + c$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 13,52 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 128,59 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal head} = \frac{13,52 \times 128,59}{2 \cdot \cos 30 (23000 \times 0,8 - 0,6 \times 13,52)} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,18 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menghitung spesifikasi jaket

Suhu operasi : 70⁰ C

Q_{steam} yang diperlukan untuk memanasi tangki yaitu 11.951.187,93 kJ/hari (dari neraca panas)

Tekanan 3,16 bar dan pada suhu 140⁰C [24] didapat:

$$1/\rho = 0,51 \text{ (m}^3/\text{kg)} \longrightarrow \rho = 1,97 \text{ kg/m}^3$$

Enthalpy Sat'd Vapor = 2.733,9 kJ/kg

Enthalpy Liquid = 589,1 kJ/kg

Kualitas *steam* yang dihasilkan adalah *wet steam* (90 %) , sehingga

$$\lambda_{steam} = 0,9 \times (2733,9 - 589,1) = 1930,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan massa steam untuk 1 tangki} &= \frac{11.951.187,93 \text{ kJ / hari}}{1930,3 \text{ kJ / kg}} \\ &= 6.191,4 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik steam} &= \frac{\text{kebutuhan massa steam}}{\rho_{steam}} \\ &= \frac{6.191,4 \text{ kg / hari}}{1,97 \text{ kg / m}^3} \\ &= 3.150,8 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal shell} = 3/16 \text{ in} \times 2,54 \frac{\text{cm}}{\text{in}} \times \frac{1}{100} \frac{\text{m}}{\text{cm}} = 0.0048 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{OD shell} &= \text{ID shell} + 2 \times \text{tebal shell} = 3,2664 \text{ m} + 2 \times 0,0048 \text{ m} \\ &= 3,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Diambil tebal jaket = tebal alas = 3/16 in = 0,0048 m

Kecepatan alir *steam* (v) = 0,01 m/s

$$\text{Rate volumetrik} = A_1 \times v$$

$$0,04 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times ((ID_{\text{jaket}})^2 - (OD_{\text{shell}})^2) \times v$$

$$0,04 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times ((ID_{\text{jaket}})^2 - 3,28^2 \text{ m}) \times 0,01 \text{ m/s}$$

$$ID_{\text{jaket}} = 3,92 \text{ m}$$

$$ID_{\text{jaket}} = OD_{\text{shell}} + \text{jaket spacing}$$

$$3,92 \text{ m} = 3,28 \text{ m} + \text{jaket spacing}$$

$$\text{Jaket spacing} = 0,65 \text{ m}$$

$$OD_{\text{jaket}} = ID_{\text{jaket}} + 2 \times \text{tebal jaket}$$

$$= 3,92 + 2 \times 0,0048$$

$$= 4,3 \text{ m}$$

$$H_{\text{jaket}} = H_{\text{Liquid}} = 5,04 \text{ m}$$

$$A_2 = \pi \times OD_{\text{shell}} \times H_{\text{jaket}}$$

$$A_2 = \pi \times 3,28 \times 5,04$$

$$A_2 = 51,82 \text{ m}^2$$

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{U_D \times A_2 \times \theta}{M \times C} \quad [51, \text{p. 627, Persm. 18.7}]$$

$$\text{Overall } U_D = 100\text{-}500 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}, \text{ sehingga diambil } U_D = 300 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$$

$$= 6125,38 \text{ kJ/jam.m}^2.\text{K} \quad [51, \text{p.840, Tabel 8}]$$

$$T_1 = \text{suhu steam masuk} = 140^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \text{suhu bahan keluar} = 70^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \text{suhu bahan masuk} = 4^\circ\text{C}$$

$$A_2 = \text{luas perpindahan panas pada jaket} = 51,82 \text{ m}^2$$

$$C = \text{heat capacity susu} = 3,93 \text{ kJ/kg C}$$

$$M = \text{Massa susu dalam tangki} = 51.588,64 \text{ kg}$$

$$\ln \frac{(140 - 4)}{(140 - 70)} = \frac{6125,38 \text{ kJ} / \text{jam} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} \times 51,82 \text{ m}^2 \times \theta}{51588,64 \text{ kg} \times 3,93 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\theta \text{ (waktu pemanasan)} = 0,42 \text{ jam} = 1527,25 \text{ detik}$$

Spesifikasi

Kapasitas = 51.588,6429 kg

ID_{shell} = 128,6 in

H_k = 104,44 in

H_{shell} = 257,19 in

H_{total} = 361,63 in

Tebal *shell* = 3/16 in

Tebal *head* = 3/16 in

Tebal alas = 3/16 in

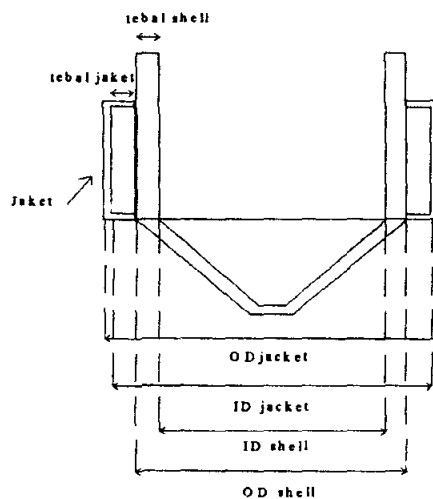
ID_{jaket} = 154,4 in

OD_{jaket} = 169,15 in

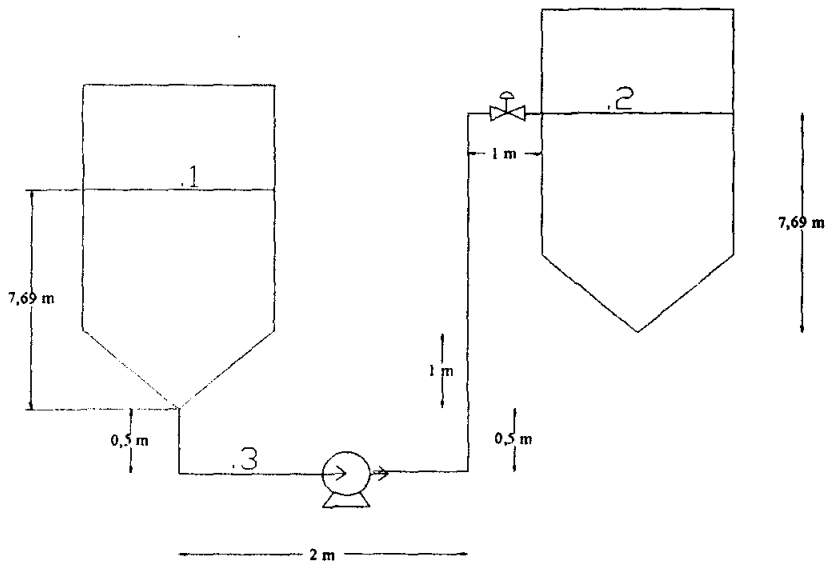
H_{jaket} = 168,28 in

Bahan konstruksi = SS-316 L

Jumlah tangki = 1 buah



10. Pompa (L-211)



Waktu operasi pompa selama 1 jam /hari

$$\text{Kapasitas} = \frac{51.588,64 \text{ kg / hari}}{1 \text{ jam / hari}} = 51.588,64 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Densitas susu} = 1,03 \text{ kg/L} = 1.030 \text{ kg/m}^3$$

$$= 64,3 \text{ lb/ft}^3$$

[37]

$$\text{Viskositas susu} = 2,1 \text{ cP} = 0,0021 \text{ kg/m s}$$

$$Z_2 - Z_1 = 1 \text{ m}$$

Menghitung diameter pompa

$$Q = \frac{51.588,64 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 50,09 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,49 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Asumsi aliran turbulen

$$\text{ID opt} = 3,9 (Q)^{0,45} \cdot (\rho)^{0,13}$$

[26, p.496]

$$= 3,9 (0,49)^{0,45} \cdot (64,3)^{0,13} = 4,87 \text{ in}$$

$$\text{Dipilih ID opt} = 5 \text{ in sch 40}$$

[26, Tabel 13]

$$OD = 5,56 \text{ in} = 0,14 \text{ m}$$

$$ID = 5,05 \text{ in} = 0,13 \text{ m}$$

$$a'' = 0,14 \text{ ft}^2 = 0,013 \text{ m}^2$$

Kecepatan aliran $v_1 = v_2 = 0$;

$$v_3 = \frac{Q}{a''} = \frac{50,09 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,013 \text{ m}^2} = 3.879,63 \text{ m/jam} = 1,1 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,13 \text{ m} \cdot 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,0021 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 67.763,23 > 4000 \text{ (asumsi betul)}$$

$\alpha = 1$ (aliran turbulen)

Friksi yang terjadi yaitu

a. *Sudden contraction*

$$h_c = 0.55 \times \left(1 - \frac{A_3}{A_1}\right)^2 \times \frac{v_3^2}{2\alpha} \quad [24, \text{Persm. 2.10-16}]$$

$$= 0.55 \times (1 - 0)^2 \times \frac{1,1^2}{2 \cdot 1} = 0,32 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

b. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_3}{A_2}\right)^2 \times \frac{v_3^2}{2\alpha} \quad [24, \text{Persm. 2.10-6}]$$

$$= (1-0)^2 \times \frac{1,1^2}{2,1} = 0,58 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

c. Friksi pada *valve* dan *fitting*

3 *elbow* 90°

$$K_f \text{ untuk } \textit{elbow} 90^\circ = 0,75 \quad [24, \text{Tabel 2.10-1}]$$

$$h_{f1} = K_f \times \frac{v_3^2}{2} \quad [24, \text{Persm. 2.10-17}]$$

$$= 0,75 \times (1,1)^2 \times \frac{1}{2} = 0,44 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

1 *gate valve*, wide open

$$K_f \text{ untuk } \textit{gate valve} = 0,17 \quad [24, \text{Tabel 2.10-2}]$$

$$h_{f2} = K_f \times \frac{v_3^2}{2} \quad [24, \text{Persm. 2.10-17}]$$

$$= 0,17 \times \frac{1,1^2}{2} = 0,09 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

$$h_f = 3 \times h_{f1} + 1 \times h_{f2} = 3 \times 0,44 + 1 \times 0,09$$

$$= 1,41 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

d. Friksi pada pipa lurus

$$\epsilon/D = 0,0004 \quad [24, \text{Gambar 2.10-3}]$$

$$f = 0,005 \quad [24, \text{Gambar 2.10-3}]$$

$$\Delta L = 0,5 + 2 + 0,5 + 1 + 7,69 + 1 \text{ m}$$

$$= 12,69 \text{ m}$$

$$F_f = 4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v_3^2}{2} = 4 \times 0,005 \times \frac{12,69}{0,141} \times \frac{1,1^2}{2}$$

$$= 1,15 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

$$\Sigma \text{ friksi} = h_c + h_{ex} + h_f + F_f = 0,32 + 0,58 + 1,41 + 1,15$$

$$= 3,5 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

Menghitung *power* pompa

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2\alpha} + (z_2 - z_1)g + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{(0^2 - 0^2)}{2(1)} + (1)9,8 + \frac{1 - 1}{1030} + 3,5 + W_s = 0$$

$$W_s = -13,3 \text{ J/kg}$$

Dengan $Q = 50,09 \text{ m}^3/\text{jam}$, didapat efisiensi pompa = 74 %

[26, Gambar 14-37]

$$\text{Brake hp} = -\frac{W_s \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-13,3 \text{ J/kg} \times 14,33}{0,74 \times 550} = 0,47 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

[26, Gambar 14-38]

$$\text{Power pompa} = -\frac{0,47}{0,8} = 0,58 \text{ hp} \approx 0,75 \text{ hp}$$

Spesifikasi

Fungsi : Untuk memompa susu dari Tangki Sterilisasi I ke Tangki Pendingin I

Tipe : pompa sentrifugal

Rate volumetrik : $0,49 \text{ ft}^3/\text{s}$

Ukuran pipa : 5 in sch 40

$$\text{OD} = 5,56 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 5,05 \text{ in}$$

Efisiensi pompa	: 74 %
Efisiensi motor	: 80%
Power pompa	: 0,75 Hp
Jumlah	: 1 buah

11. Tangki Pendingin I (E-212)

Fungsi	: Untuk mendinginkan susu sapi
Tipe	: Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk <i>flat</i> dan tutup bawah berbentuk konis
Kapasitas	: 51.588,64 kg/hari.
Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja	
1 bulan terdapat 30 hari kerja	
Jumlah	: 1 buah

Perhitungan:

$$\text{Densitas susu sapi} = 1,03 \text{ kg/L} = 1.030 \text{ kg/m}^3 \times 1/16,0185 = 64,3 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Kapasitas tangki} = 51.588,64 \text{ kg /hari}$$

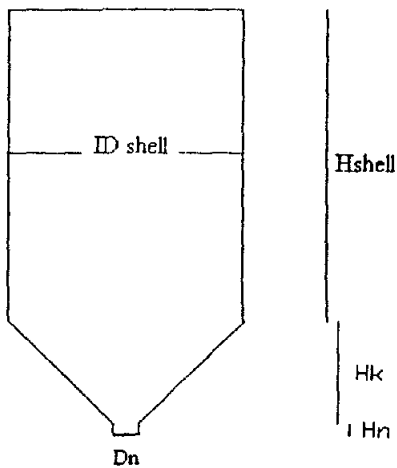
$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik} &= \frac{\text{kapasitas susu sapi}}{\rho} = \frac{51.588,64 \text{ kg / hari}}{1030 \text{ kg / m}^3} \\ &= 50,09 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum susu sapi selama 1 hari} &= 50,09 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} \\ &= 50,09 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volum susu yang terisi didalam tangki adalah 80 % volume *shell*, sehingga

$$\text{Volume tangki} = \frac{\text{Volume susu sapi}}{80\%} = \frac{50,09 \text{ m}^3}{0,8} = 62,61 \text{ m}^3$$

Volume 1 buah tangki = volume *shell* + volume konis

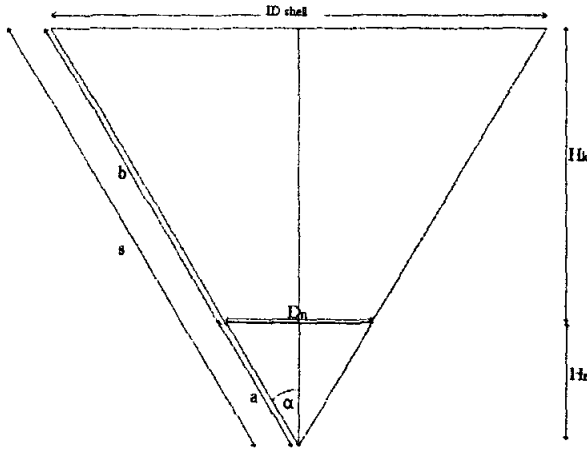


Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*
 H_{shell} = tinggi *shell*
 H_k = tinggi konis
 H_n = tinggi *nozzle*
 D_n = diameter *nozzle*

Menghitung volume *shell*

Dimana : $\frac{H_{shell}}{ID_{shell}} = 2$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga volume } shell &= \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times H = \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times 2 ID_{shell} \\ &= \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 \end{aligned}$$

Menghitung volume konis

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^\circ$ [29, p. 96]

Diameter *nozzle* (D_n) yang pada umumnya digunakan berkisar 4 atau 8 atau 10 inchi. [29, p. 96]

D_n yang digunakan adalah 8 inchi (0,2 m)

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{ID_{shell} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times \left(\frac{ID_{shell} - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume 1 buah tangki = volume *shell* + volume konis

$$62,61 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - Dn^3)$$

$$62,61 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - 0,2^3)$$

$$62,61 \text{ m}^3 = 1,57 ID_{shell}^3 + 0,23 ID_{shell}^3 - (1,9 \times 10^{-3})$$

$$ID_{shell} = 3,27 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} = 128,59 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 2 ID_{shell} = 2 \times 3,27 = 6,53 \text{ m}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,2032}{2 \cdot \tan 30} = 0,18 \text{ m}$$

$$Hk = \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{3,27}{2 \cdot \tan 30} - 0,18$$

$$= 2,65 \text{ m}$$

$$H \text{ total} = H_{shell} + H_k = 6,53 + 2,65$$

$$= 9,19 \text{ m}$$

$$= 361,63 \text{ in}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,2}{2}\right)^2 + 0,18^2}$$

$$= 0,2 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3,27}{2}\right)^2 + (2,65 + 0,18)^2}$$

$$= 3,27 \text{ m}$$

$$b = s - a$$

$$= (3,27 - 0,2) \text{ m}$$

$$= 3,06 \text{ m}$$

Mencari tinggi liquid di dalam tangki

Volume susu sapi = V_{shell} + volume tangki

$$50,09 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^2 \times H_{Liquid} + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - Dn^3),$$

$$50,09 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times 3,27^2 \times H_{Liquid} + \frac{\pi}{24 \tan 30} (3,27^3 - 0,2^3)$$

$$H_{Liquid} = 5,04 \text{ m} = 16,53 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam tangki (ZT)} = H_L + H_k = 5,04 + 2,65 = 7,69 \text{ m}$$

$$= 25,23 \text{ ft}$$

$$P_{hidrostatik} = \frac{\rho_{susu} \times ZT}{144} \quad [29, \text{p.46, Persm. 3.17}]$$

$$= \frac{64,3 \times 25,23}{144} = 11,27 \text{ psia}$$

$$P_{design} = 1,2 P_{hidrostatik} = 1,2 \times 11,27 = 13,52 \text{ psia}$$

Menentukan tebal shell

$$\text{tebal shell} = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 13,52 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 128,59 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal shell} = \frac{13,52 \times 128,59}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,17 \text{ in}$$

Tebal plate komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup atas yang berbentuk plat

$$\text{tebal head} = \frac{P ID_{shell}}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 13,52 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 128,59 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal head} = \frac{13,52 \times 128,59}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,17 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup bawah yang berbentuk konis

$$\text{tebal alas} = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot \cos \alpha (f_{ALL} E - 0,6P)} + c$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 13,52 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 128,59 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal alas} = \frac{13,52 \times 128,59}{2 \cdot \cos 30 (23000 \times 0,8 - 0,6 \times 13,52)} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,18 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menghitung spesifikasi jaket

Suhu operasi : 37° C

$Q_{refrigerant}$ yang diperlukan untuk mendinginkan yaitu 6.690.531,09 kJ/hari (dari neraca panas)

$$\text{Densitas refrigerant} = 1,17 \text{ kg/m}^3$$

[52]

Dari neraca panas diperoleh

$$\text{Enthalpy Sat'd Vapor (H}_2\text{)} = 416 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Enthalpy Liquid } (H_1) = 254 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda \text{ refrigerant} = 416 - 254 = 162 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Kebutuhan massa refrigerant} = \frac{6.690.531,09 \text{ kJ / hari}}{162 \text{ kJ / kg}}$$

$$= 41.299,57 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Rate volumetrik refrigerant} = \frac{\text{kebutuhan massa refrigerant}}{\rho \text{ refrigerant}}$$

$$= \frac{41.299,57 \text{ kg / hari}}{1,17 \text{ kg / m}^3}$$

$$= 35,29 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,00041 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tebal shell} = 3/16 \text{ in} \times 2,54 \frac{\text{cm}}{\text{in}} \times \frac{1}{100} \frac{\text{m}}{\text{cm}} = 0,0048 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{OD shell} &= \text{ID shell} + 2 \times \text{tebal shell} = 3,27 \text{ m} + 2 \times 0,0048 \text{ m} \\ &= 3,28 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil tebal jaket} = \text{tebal konis} = 3/16 \text{ in} = 0,0048 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan alir refrigerant } (v) = 0,001 \text{ m/s}$$

$$\text{Rate volumetrik} = A_1 \times v$$

$$0,00041 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times ((\text{ID}_{\text{jaket}})^2 - (\text{ID}_{\text{shell}})^2) \times v$$

$$0,00041 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times ((\text{ID}_{\text{jaket}})^2 - 3,28^2 \text{ m}) \times 0,001 \text{ m/s}$$

$$\text{ID}_{\text{jaket}} = 3,35 \text{ m}$$

$$\text{ID}_{\text{jaket}} = \text{OD}_{\text{shell}} + \text{jaket spacing}$$

$$3,35 \text{ m} = 3,28 \text{ m} + \text{jaket spacing}$$

$$\text{Jaket spacing} = 0,08 \text{ m}$$

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = \text{ID}_{\text{jaket}} + 2 \times \text{tebal jaket}$$

$$= 3,35 + 2 \times 0,0048$$

$$= 3,36 \text{ m}$$

$$H_{\text{jaket}} = H_{\text{Liquid}} = 5,04 \text{ m}$$

$$A_2 = \pi \times OD_{\text{shell}} \times H_{\text{jaket}}$$

$$A_2 = \pi \times 3,28 \times 5,04$$

$$A_2 = 51,82 \text{ m}^2$$

$$\ln \frac{(t_1 - T_1)}{(t_2 - T_1)} = \frac{U_D \times A_2 \times \theta}{M \times C} \quad [51, \text{p.627, Persm. 18.7}]$$

$$\text{Overall } U_D = 0,7 \text{ kW/m}^2 \text{ K} = 2520 \text{ kJ/jam.m}^2 \text{ .K} \quad [53]$$

$$T_1 = \text{suhu uap } \textit{refrigerant} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \text{suhu bahan masuk} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \text{suhu bahan keluar} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_2 = \text{luas perpindahan panas pada jaket} = 51,82 \text{ m}^2$$

$$\theta = \text{waktu pendinginan} = 3600 \text{ s} = 1 \text{ jam}$$

$$C = \text{heat capacity susu} = 3,93 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$$

$$M = \text{Massa susu dalam tangki} = 51.583,64 \text{ kg}$$

$$\ln \frac{(70 - (-5))}{(37 - (-5))} = \frac{2520 \text{ kJ / jam.m}^2 \text{ .K} \times 51,82 \text{ m}^2 \times \theta}{51.588,64 \text{ kg} \times 3,93 \text{ kJ / kg.K}}$$

$$\theta (\text{waktu pendinginan}) = 0,9 \text{ jam} = 3.241 \text{ detik}$$

Spesifikasi

Kapasitas : 51.588,64 kg

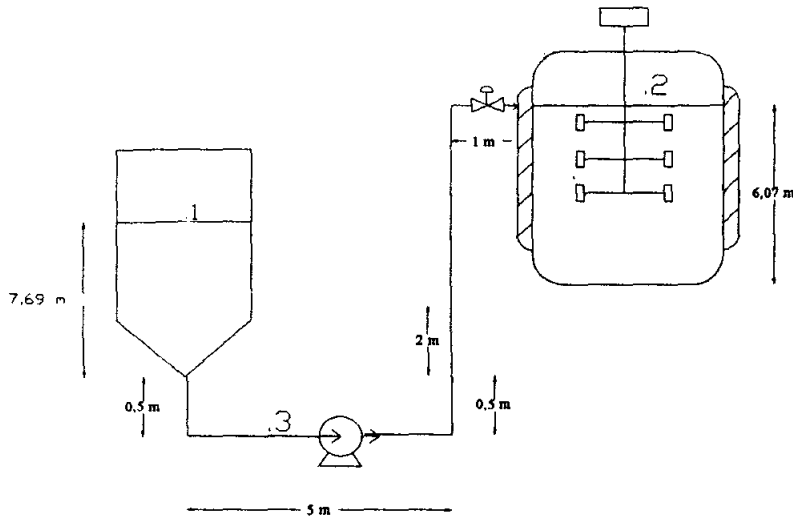
ID_{shell} : 128,60 in

H_k : 104,44 in

H_{shell} : 257,19 in

H_{total}	: 361,63 in
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>head</i>	: 3/16 in
Tebal alas	: 3/16 in
ID_{jaket}	: 132,06 in
OD_{jaket}	: 132,44 in
H_{jaket}	: 178,54 in
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel SS-316 L</i>
Jumlah tangki	: 1 buah

12. Pompa (L-213)



Waktu operasi 1 jam

Kapasitas = 51.588,64 kg/hari = 51.588,64 kg/jam = 14,33 kg/s

Densitas susu = 1,03 kg/L = 1.030 kg/m³

= 64,3 lb/ft³

[37]

Viskositas susu = 2,1 cP = 0,0021 kg/m s

$$Z_2 - Z_1 = (6,07 + 2) - (7,69) = 0,38 \text{ m}$$

Densitas susu = 1,03 kg/L

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa susu ke bioreaktor

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : 0,49 ft³/s

Ukuran pipa : 5 in sch 40

$$OD = 5,56 \text{ in}$$

$$ID = 5,05 \text{ in}$$

Efisiensi pompa : 74 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,5 hp

Jumlah : 1 buah

13. Tangki Sterilisasi II (asam laktat) (D-220)

Fungsi : Untuk sterilisasi asam laktat

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Kapasitas : 6.010,33 kg/hari.

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan untuk 1 buah tangki :

Densitas asam laktat = $1,2 \text{ kg/L} = 1.200 \text{ kg/m}^3 \times 1/16,0185 = 74,91 \text{ lb/ft}^3$

Dengan cara yang sama pada perhitungan Tangki Sterilisasi I didapat spesifikasi

Kapasitas : 6.010,33 kg

ID_{shell} : 59,69 in

H_k : 44,77 in

H_{shell} : 119,39 in

H_{total} : 164,16 in

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal alas : 3/16 in

ID_{jaket} : 65,7 in

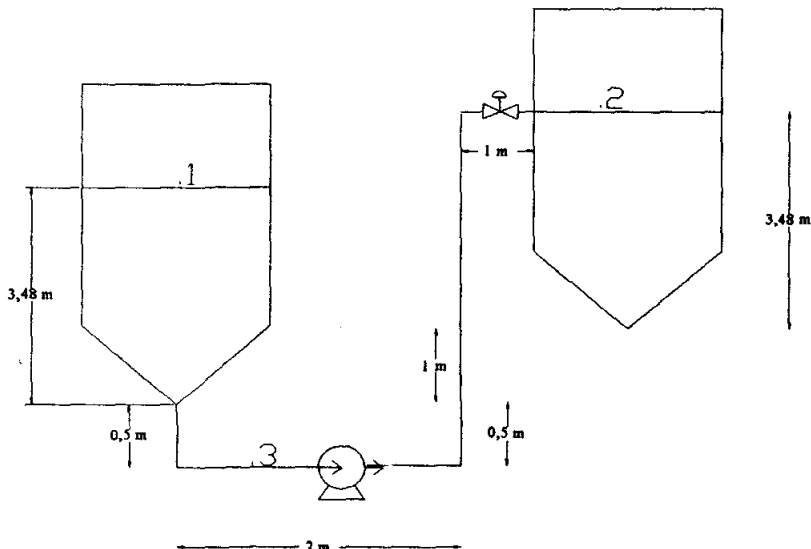
OD_{jaket} : 66,03 in

H_{jaket} : 102,08 in

Bahan konstruksi : SS-316 L

Jumlah tangki : 1 buah

14. Pompa (L-221)



Waktu operasi = 1 jam

Kapasitas = 6010,33 kg/hari = 6010,33 kg/jam = 1,67 kg/s

Densitas asam laktat = 1,2 kg/L = 1.200 kg/m³

$$= 74,91 \text{ lb/ft}^3 \quad [37]$$

Viskositas asam laktat = 33,26 cP = 0,03 kg/m s

$Z_2 - Z_1 = 1 \text{ m}$

Menghitung diameter pompa

$$Q = \frac{6010,33 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5,01 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,05 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Asumsi aliran laminar

$$\text{ID opt} = 3,6 (Q)^{0,36} \cdot (\mu)^{0,18} \quad [26, \text{p.496}]$$

$$= 3,9 (0,05)^{0,36} \cdot (33,26)^{0,18} = 2,29 \text{ in}$$

Dipilih ID opt = 2 ½ in sch 40

[26, Tabel 13]

$$\text{OD} = 2,88 \text{ in} = 0,07 \text{ m}$$

$$\text{ID} = 2,5 \text{ in} = 0,06 \text{ m}$$

$$a'' = 0,03 \text{ ft}^2 = 0,0031 \text{ m}^2$$

Kecepatan aliran $v_1 = v_2 = 0$

$$v_3 = \frac{Q}{a''} = \frac{5,01 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,0031 \text{ m}^2} = 1.621,43 \text{ m/jam} = 0,45 \text{ m/s}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,06 \text{ m} \cdot 0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,03 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 1.019,04 < 2100 \text{ (asumsi betul)}$$

$\alpha = 0,5$ (aliran laminar)

Friksi yang terjadi yaitu

a. *Sudden contraction*

$$h_c = 0.55 \times \left(1 - \frac{A_3}{A_1}\right)^2 \times \frac{v_3^2}{2\alpha} \quad [24, \text{Persm. 2.10-16}]$$

$$= 0.55 \times (1 - 0)^2 \times \frac{0,45^2}{2 \cdot 0,5} = 0,11 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

b. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_3}{A_2}\right)^2 \times \frac{v_3^2}{2\alpha} \quad [24, \text{Persm. 2.10-6}]$$

$$= (1 - 0)^2 \times \frac{0,45^2}{2 \cdot 0,5} = 0,2 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

c. Friksi pada *valve* dan *fitting*

3 elbow 90°

$$K_f \text{ untuk elbow } 90^\circ = 7 \quad [24, \text{Tabel 2.10-2}]$$

$$h_{f1} = K_f \times \frac{v_3^2}{2} \quad [24, \text{Persm. 2.10-17}]$$

$$= 7 \times (0,45)^2 \times \frac{1}{2} = 0,71 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

1 gate valve, wide open

$$K_f \text{ untuk gate valve} = 22 \quad [24, \text{Tabel 2.10-2}]$$

$$h_{f2} = K_f \times \frac{v_3^2}{2} \quad [24, \text{Persm. 2.10-17}]$$

$$= 22 \times \frac{0,45^2}{2} = 2,23 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

$$hf = 3 \times hf_1 + 1 \times hf_2 = 3 \times 0,71 + 1 \times 2,23$$

$$= 4,36 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

d. Friksi pada pipa lurus

$$f = 16 / N_{Re} \quad [24, \text{Persm. 2.10-7}]$$

$$f = 16 / 1.019,04 = 0,02$$

$$\Delta L = 8,48 \text{ m}$$

$$F_f = 4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v_3^2}{2} = 4 \times 0,02 \times \frac{8,48}{0,06} \times \frac{0,45^2}{2}$$

$$= 0,86 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

$$\Sigma \text{ friksi} = h_c + h_{ex} + h_f + F_f = 0,11 + 0,2 + 4,36 + 0,86$$

$$= 5,54 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

Menghitung *power* pompa

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2\alpha} + (z_2 - z_1)g + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{(0^2 - 0^2)}{2(0,5)} + (3,48)9,8 + \frac{1 - 1,2}{1200} + 5,54 + W_s = 0$$

$$W_s = -15,54 \text{ J/kg}$$

Dengan $Q = 5,01 \text{ m}^3/\text{jam}$, didapat efisiensi pompa = 48 % [26. Gambar 14-37]

$$\text{Brake hp} = -\frac{W_s \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-15,54 \text{ J/kg} \times 1,67}{0,48 \times 550} = 0,09 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

[26, Gambar 14-38]

$$Power\ pompa = -\frac{0,09}{0,8} = 0,12\ hp \approx 0,25\ hp$$

Spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa asam laktat dari Tangki Sterilisasi II
ke Tangki Pendingin II

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : 0,05 ft³/s

Ukuran pipa : 2 ½ in sch 40

$$OD = 2,88\ in$$

$$ID = 2,47\ in$$

Efisiensi pompa : 48 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,25 hp

Jumlah : 1 buah

15. Tangki Pendingin II (E-222)

Fungsi : Untuk mendinginkan asam laktat

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah
berbentuk konis

Kapasitas : 6.010,33 kg/hari.

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

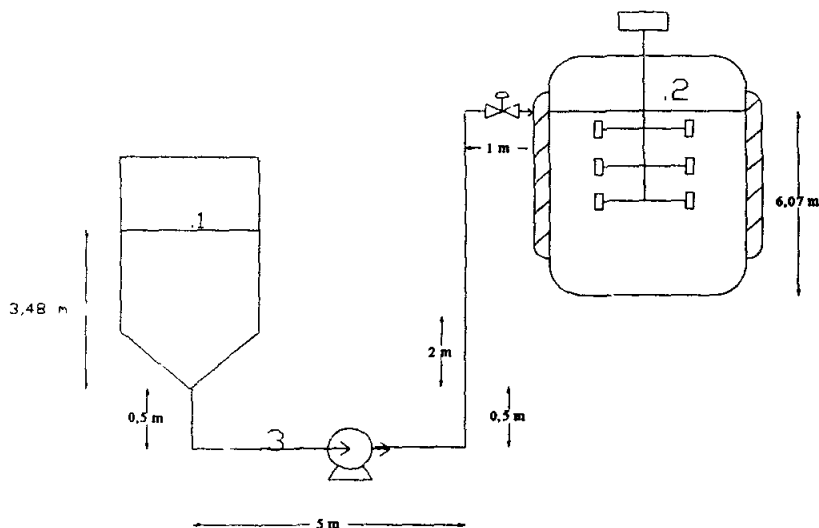
Perhitungan untuk 1 buah tangki :

$$Densitas\ asam\ laktat = 1,2\ kg/L = 1.200\ kg/m^3 \times 1/16,0185 = 74,91\ lb/ft^3$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan Tangki Pendingin I didapat spesifikasi

Kapasitas	: 6.010,33 kg
ID_{shell}	: 59,69 in
H_k	: 44,77 in
H_{shell}	: 119,39 in
H_{total}	: 164,16 in
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>head</i>	: 3/16 in
Tebal alas	: 3/16 in
ID_{jaket}	: 61,07 in
OD_{jaket}	: 61,44 in
H_{jaket}	: 83,45 in
Bahan konstruksi	: SS-316 L
Jumlah tangki	: 1 buah

16. Pompa (L-223)



Waktu operasi 1 jam

Kapasitas = 51.588,64 kg/hari = 51.588,64 kg/jam = 14,33 kg/s

Densitas asam laktat = 1,2 kg/L = 1.200 kg/m³
 = 74,91 lb/ft³ [37]

Viskositas asam laktat = 33,26 cP = 0,03 kg/m s

$Z_2 - Z_1 = (6,0677 + 2) - (3,4758) = 4,59 \text{ m}$

Densitas asam laktat = 1,2 kg/L = 1200 kg/m³

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : untuk memompa asam laktat ke Bioreaktor

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : 0,05 ft³/s

Ukuran pipa : 2 ½ in sch 40

OD = 2,88 in

ID = 2,47 in

Efisiensi pompa : 48 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,25 hp

Jumlah : 1 buah

17. *Mixer I (D-230)*

Fungsi : Untuk mencampur Na₂CO₃ yang berbentuk padat dan NH₄OH yang berbentuk cair

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Jenis pengaduk : *Six blade turbine*

Kapasitas : 5.008,61 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Densitas Na}_2\text{CO}_3 (\rho_1) &= 2,53 \text{ kg/L} = 2530 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/16,0185 \\ &= 157,94 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Densitas NH}_4\text{OH} (\rho_2) &= 0,9 \text{ kg/L} = 900 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/16,0185 \\ &= 56,19 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa Na}_2\text{CO}_3 (x_1) &= \text{Massa Na}_2\text{CO}_3 / \text{massa total} \\ &= 500,86 / 5008,61 \\ &= 0,1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa NH}_4\text{OH} &= \text{Massa NH}_4\text{OH} / \text{massa total} \\ &= 4507,75 / 5008,61 \\ &= 0,9\end{aligned}$$

$$\text{Densitas campuran} (\rho) = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0,1}{2,53} + \frac{0,9}{0,9}} = 0,96 \text{ kg/L}$$

$$\text{Cp natrium karbonat (Cp}_1) = 2,99 \text{ kJ/kg K}$$

$$\text{Cp NH}_4\text{OH (Cp}_2) = 3,16 \text{ kJ/kg K}$$

$$\begin{aligned}\text{Cp campuran} &= x_1 \text{ Cp}_1 + x_2 \text{ Cp}_2 \\ &= 0,1 \times 2,99 + 0,9 \times 3,16\end{aligned}$$

$$= 3,15 \text{ kJ/kg K}$$

$$\text{Kapasitas campuran} = 5008,61 \text{ kg/hari}$$

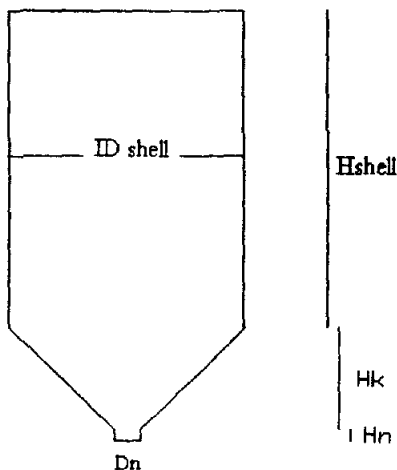
$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik} &= \frac{\text{kapasitas campuran}}{\rho} = \frac{5008,61 \text{ kg / hari}}{10,96 \text{ kg / lt}} \\ &= 5.206,57 \text{ lt/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum campuran selama 1 hari} &= 5.206,57 \text{ lt/hari} \times 1 \text{ hari} \\ &= 5.206,57 \text{ lt} = 5,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volum campuran selama 1 hari untuk 1 tangki adalah 80 % volume *shell*, sehingga

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 buah tangki} &= \frac{\text{Volume campuran}}{80\%} \\ &= \frac{5,2 \text{ m}^3}{0,8} = 6,51 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume 1 buah tangki = volume *shell* + volume konis



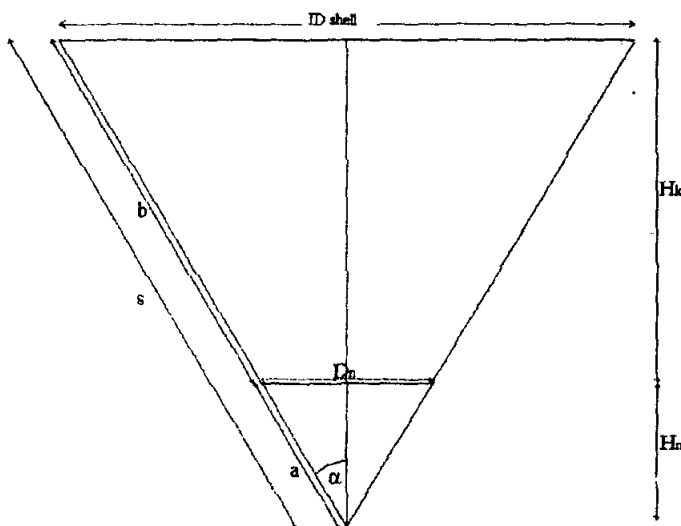
Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*
 H_{shell} = tinggi *shell*
 H_k = tinggi konis
 H_n = tinggi *nozzle*
 D_n = diameter *nozzle*

Menghitung volume *shell*

Dimana : $\frac{H_{shell}}{ID_{shell}} = 2$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga volume } shell &= \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times H_{shell} = \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times 2 ID_{shell} \\ &= \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3\end{aligned}$$

Menghitung volume konis



Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^\circ$ [29, p. 96]

Diameter *nozzle* (D_n) yang pada umumnya digunakan berkisar 4, atau 8, atau 10 inchi. [29, p. 96]

D_n yang digunakan adalah 8 inchi (0,2 m)

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{ID_{shell} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times \left(\frac{ID_{shell} - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$6,51 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - D_n^3)$$

$$6,51 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - 0,2^3)$$

$$6,51 \text{ m}^3 = 1,57 ID_{shell}^3 + 0,23 ID_{shell}^3 - (1,9 \times 10^{-3})$$

$$ID_{shell} = 1,54 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} = 60,47 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 2 ID_{shell} = 2 \times 1,54 = 3,07 \text{ m}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,2}{2 \cdot \tan 30} = 0,18 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{1,54}{2 \cdot \tan 30} - 0,17 \\ &= 1,15 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{shell}} + H_k = 3,07 + 1,15$$

$$= 4,23 \text{ m}$$

$$= 166,38 \text{ in}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,2}{2}\right)^2 + 0,18^2}$$

$$= 0,2 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{ID_{\text{shell}}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1,54}{2}\right)^2 + (1,15 + 0,18)^2}$$

$$= 1,54 \text{ m}$$

$$b = s - a$$

$$= (1,54 - 0,2) \text{ m}$$

$$= 1,33 \text{ m}$$

Mencari tinggi campuran bahan di dalam tangki

Volume campuran = V_{shell} + volume tangki

$$5,21 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{\text{shell}}^2 \times H_{\text{campuran}} + \frac{\pi}{24 \text{ tg } 30} (ID_{\text{shell}}^3 - Dn^3)$$

$$5,21 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times 1,54^2 \times H_{\text{campuran}} + \frac{\pi}{24 \text{ tg } 30} (1,54^3 - 0,2^3)$$

$$H_{\text{campuran}} = 2,37 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi campuran bahan dalam tangki (ZT)} &= H_{\text{campuran}} + H_k \\ &= 2,37 + 1,15 = 3,52 \text{ m} = 11,56 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatik}} &= \frac{\rho_{\text{campuran}} \times ZT}{144} & [29, \text{p.46, Persm. 3.17}] \\ &= \frac{60,05 \times 11,56}{144} = 4,82 \text{ psia}\end{aligned}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 P_{\text{hidrostatik}} = 1,2 \times 4,82 = 5,78 \text{ psia}$$

Menentukan tebal *shell*

$$\text{tebal } shell = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 5,78 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter } shell = 60,47 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal } shell = \frac{5,78 \times 60,47}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,135 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup atas yang berbentuk plat

$$\text{tebal head} = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 5,78 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 60,47 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal head} = \frac{5,78 \times 60,47}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,135 \text{ in}$$

Tebal plate komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup bawah yang berbentuk konis

$$\text{tebal alas} = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot \cos \alpha (f_{ALL} E - 0,6P)} + c$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 5,78 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter shell} = 60,47 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(Stainless steel SS-316 L)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal alas} = \frac{5,78 \times 60,47}{2 \cdot \cos 30 (23000 \times 0,8 - 0,6 \times 5,41)} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,14 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menghitung spesifikasi jaket

Q_{steam} yang diperlukan untuk memanasi tangki yaitu 387.520,57 kJ/hari (dari neraca panas)

Tekanan 3,16 bar dan pada suhu 140°C [24] didapat

$$1/\rho = 0,59 \text{ (m}^3\text{/kg)} \longrightarrow \rho = 1,97 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Enthalpy Sat'd Vapor} = 2.733,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Enthalpy Liquid} = 589,13 \text{ kJ/kg}$$

Kualitas *steam* yang dihasilkan adalah *wet steam* (90 %) , sehingga

$$\lambda_{\text{steam}} = 0,9 \times (2733,9 - 589,13) = 1930,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan massa steam untuk tangki} &= \frac{387.520,57 \text{ kJ / hari}}{1930,3 \text{ kJ / kg}} \\ &= 200,76 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik steam} &= \frac{\text{kebutuhan massa steam}}{\rho_{\text{steam}}} \\ &= \frac{200,76 \text{ kg / hari}}{1,97 \text{ kg / m}^3} \\ &= 102,17 \text{ m}^3\text{/hari} = 0,001 \text{ m}^3\text{/s} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal shell} = 3/16 \text{ in} \times 2,54 \frac{\text{cm}}{\text{in}} \times \frac{1}{100} \frac{\text{m}}{\text{cm}} = 0,0048 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{OD}_{shell} &= \text{ID}_{shell} + 2 \times \text{tebal}_{shell} = 1,54 \text{ m} + 2 \times 0,0048 \text{ m} \\ &= 1,55 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil tebal jaket} = \text{tebal konis} = 3/16 \text{ m} = 0,0048$$

$$\text{Kecepatan alir steam } (v) = 0,01 \text{ m/s}$$

$$\text{Rate volumetrik} = A_1 \times v$$

$$0,001 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times (\text{ID}_{jaket}^2 - \text{OD}_{Shell}^2) \times v$$

$$0,001 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times (\text{ID}_{jaket}^2 - 1,55^2 \text{ m}) \times 0,01 \text{ m/s}$$

$$\text{ID}_{jaket} = 1,58 \text{ m}$$

$$\text{ID}_{jaket} = \text{OD}_{shell} + \text{jaket spacing}$$

$$1,58 \text{ m} = 1,55 \text{ m} + \text{jaket spacing}$$

$$\text{Jaket spacing} = 0,04 \text{ m}$$

$$\text{OD}_{jaket} = \text{ID}_{jaket} + 2 \times \text{tebal jaket}$$

$$= 1,58 + 2 \times 0,0048$$

$$= 1,59 \text{ m}$$

$$\text{H}_{jaket} = \text{H}_{\text{Liquid}} = 5,04 \text{ m}$$

$$A_2 = \pi \times \text{OD}_{shell} \times \text{H}_{jaket}$$

$$A_2 = \pi \times 1,55 \times 5,04$$

$$A_2 = 11,5 \text{ m}^2$$

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{U \times A_2 \times \theta}{M \times C_p} \quad [51, \text{p. 627, Persm. 18.7}]$$

$$\text{Overall } U_D = 100\text{-}500 \text{ Btu/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}, \text{ jadi diambil } U_D = 300 \text{ Btu/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$= 6125,37 \text{ kJ/jam.m}^2 \cdot \text{K} \quad [51, \text{p.840, Tabel 8}]$$

$$T_1 = \text{suhu steam masuk} = 140^\circ\text{C}$$

t_2 = suhu bahan keluar = 70°C

t_1 = suhu bahan masuk = 30°C

θ = waktu pemanasan = $400\text{ s} = 0,11\text{ jam}$

C_p = heat capacity campuran bahan = $3,93\text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$

M = Massa campuran dalam tangki = $5008,61\text{ kg/hari}$

$$\ln \frac{(140 - 30)}{(140 - 70)} = \frac{6125,38\text{ kJ/jam} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} \times 11,5\text{ m}^2 \times \theta}{5008,61\text{ kg} \times 3,15\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$\theta = 0,1\text{ jam} = 364\text{ detik}$$

Perhitungan pengaduk

Jenis pengaduk yang dipilih adalah *6 flat blade turbine* karena paling sering digunakan dalam proses industri. Pengaduk ini biasa digunakan untuk bahan yang memiliki viskositas sampai dengan 100.000 cp .

$$Da/ID_{shell} = 0,3 - 0,5 \rightarrow Da = (0,3 - 0,5)ID_{shell} \quad [24, \text{p. 144, Tabel 3.4-1}]$$

$$\text{Diambil } Da = 0,3ID_{shell}$$

$$C / ID_{shell} = 1/3 \rightarrow C = ID_{shell} / 3$$

$$J / ID_{shell} = 1/12 \rightarrow J = ID_{shell} / 12$$

$$L/Da = 1/4 \rightarrow L = Da/4$$

$$W/Da = 1/5 \rightarrow W = Da/5$$

Keterangan :

Da : Diameter *impeller*

ID_{shell} : Diameter tangki

C : Jarak dari dasar tangki ke pengaduk

L : Panjang *blade*

J : Lebar *baffle*

W : Lebar *blade*

$$Da = 0,3 ID_{shell} = 0,3 \times 1,54 \text{ m} = 0,61 \text{ m}$$

$$C = ID_{shell}/3 = 1,54 \text{ m}/3 = 0,51 \text{ m}$$

$$L = Da/4 = 0,61 \text{ m}/4 = 0,15 \text{ m}$$

$$J = ID_{shell}/12 = 1,54 \text{ m}/12 = 0,13 \text{ m}$$

$$W = Da/5 = 0,61 \text{ m}/5 = 0,12 \text{ m}$$

Kecepatan *impeller* : 20 – 150 rpm [54, p.238]

Diambil : 50 rpm

$$N = 50 \text{ rpm} = 0,83 \text{ s}^{-1}$$

Viskositas yang digunakan adalah viskositas NH_4OH karena komponen terbesar dalam campuran bahan adalah NH_4OH yaitu sebesar 90%

$$\mu \text{ NH}_4\text{OH} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ (kg/m.s)}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 962 \text{ kg/m}^3$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu} = \frac{(0,61 \text{ m})^2 \times 0,83 \text{ s}^{-1} \times 962 \text{ kg/m}^3}{2,2 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 137543,23$$

(turbulen, $\alpha=1$)

$$Da/W = 5, ID_{shell}/J = 12 \text{ (curve 1)}$$

$$Np = 5,4 \quad [24, \text{p.145, Gambar 3.4-4}]$$

$$\text{Sg bahan masuk} = \frac{\rho_{\text{camp}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{962 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,96$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \times H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{0,96 \times 4,23 \text{ m}}{1,54 \text{ m}} = 2,65 \approx 3$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak impeller} &= (\text{Tinggi campuran dalam tangki} - C)/3 \\ &= (3,52 - 0,51)/3 = 1,0038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N_p = \frac{P}{\rho \times N^3 \times Da^5}$$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot Da^5 = 5,4 \times 962 \text{ kg/m}^3 \times (0,5 \text{ s}^{-1})^3 \times (0,61 \text{ m})^5$$

$$= 263,15 \text{ J/s} = 0,35 \text{ hp}$$

Efisiensi = 80%

[26, p.521, Gambar 14-38]

$$Power = 0,35 \text{ hp} / 0,8 = 0,44 \text{ hp} \approx 0,5 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Kapasitas : 5008,61 kg

 ID_{shell} : 60,47 in H_k : 45,44 in H_{shell} : 120,94 in

H total : 166,38 in

Tebal *shell* : 3/16 inTebal *head* : 3/16 in

Tebal alas : 3/16 in

 ID_{jaket} : 62,38 in OD_{jaket} : 62,76 in H_{jaket} : 76,15 inDiameter *impeller* (Da) : 0,61 m

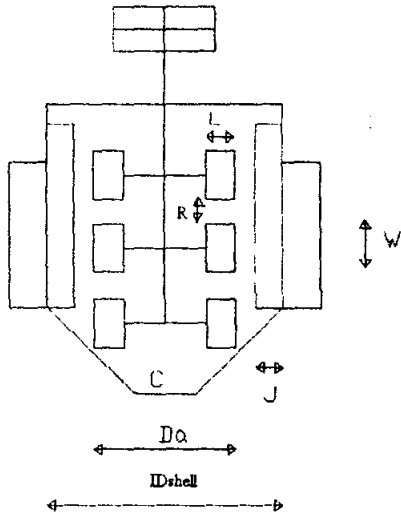
Jarak dasar tangki ke pengaduk (C) : 0,51 m

Panjang *blade* (L) : 0,15 mLebar *baffle* (J) : 0,13 mLebar *blade* (W) : 0,12 m

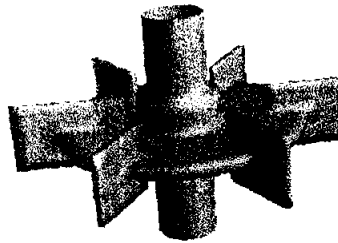
Bahan konstruksi : SS-316 L

Jarak *impeller* (R) : 1,0038 m

Jumlah tangki : 1 buah

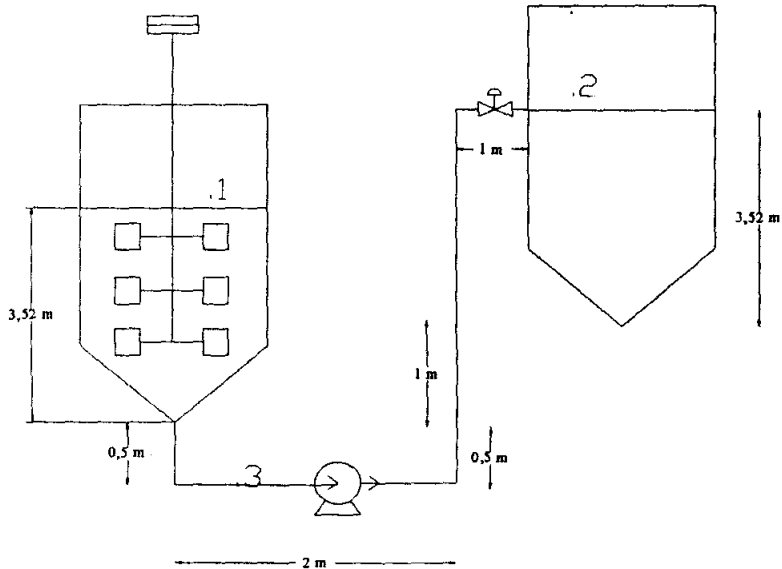


Gambar tangki pengaduk



Gambar jenis pengaduk

18. Pompa (L-231)



Waktu operasi 1 jam

Kapasitas = 8.598,11 kg/hari = 358,25 kg/jam = 0,07 kg/s

Densitas asam laktat = 1,2 kg/L = 1.200 kg/m³

$$= 74,91 \text{ lb/ft}^3 \quad [37]$$

Viskositas asam laktat = 33,26 cP = 0,03 kg/m s

$$Z_2 - Z_1 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas Na}_2\text{CO}_3 (\rho_1) &= 2,53 \text{ kg/L} = 2530 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/16,0185 \\ &= 157,94 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas NH}_4\text{OH} (\rho_2) &= 0,9 \text{ kg/L} = 900 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/16,0185 \\ &= 56,19 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa Na}_2\text{CO}_3 (x_1) &= \text{Massa Na}_2\text{CO}_3 / \text{massa total} \\ &= 500,86 / 5008,61 \\ &= 0,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa NH}_4\text{OH} &= \text{Massa NH}_4\text{OH} / \text{massa total} \\ &= 4507,75 / 5008,61 \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\text{Densitas campuran } (\rho) = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0,1}{2,53} + \frac{0,9}{0,9}} = 0,96 \text{ kg/L}$$

Viskositas yang digunakan adalah viskositas NH₄OH karena komponen terbesar dalam campuran bahan adalah NH₄OH yaitu sebesar 90%

$$\mu \text{ NH}_4\text{OH} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ (kg/m.s)}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa campuran larutan (NH₄OH dan Na₂CO₃)
dari *Mixer* I ke Tangki Pendingin III

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : 0,05 ft³/s

Ukuran pipa : 2 in sch 40

OD = 2,38 in

ID = 2,07 in

Efisiensi pompa : 49 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,25 hp

Jumlah : 1 buah

19. Tangki Pendingin III (E-232)

Fungsi : Untuk mendinginkan campuran larutan NH₄OH dan Na₂CO₃

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Kapasitas : 5008,61 kg/hari.

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Densitas Na₂CO₃ (ρ_1) = 2,53 kg/L = 2530 kg/m³ · 1/16,0185
= 157,94 lb/ft³

Densitas NH₄OH (ρ_2) = 0,9 kg/L = 900 kg/m³ · 1/16,0185
= 56,19 lb/ft³

Fraksi massa Na₂CO₃ (x_1) = Massa Na₂CO₃ / massa total
= 500,86 / 5008,61
= 0,1

Fraksi massa NH_4OH = Massa NH_4OH / massa total

$$= 4507,75 / 5008,61$$

$$= 0,9$$

$$\text{Densitas campuran } (\rho) = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0,1}{2,53} + \frac{0,9}{0,9}} = 0,96 \text{ kg/L}$$

$$C_p \text{ Na}_2\text{CO}_3 (C_{p1}) = 2,99 \text{ kJ/kg K}$$

$$C_p \text{ NH}_4\text{OH} (C_{p2}) = 3,16 \text{ kJ/kg K}$$

$$C_p \text{ campuran} = x_1 C_{p1} + x_2 C_{p2}$$

$$= 0,1 \times 2,99 + 0,9 \times 3,16$$

$$= 3,15 \text{ kJ/kg K}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan Tangki Pendingin I didapat spesifikasi:

Kapasitas : 5008,61 kg

ID_{shell} : 60,47 in

H_k : 45,44 in

H_{shell} : 120,94 in

H_{total} : 166,38 in

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal alas : 3/16 in

ID_{jaket} : 61,36 in

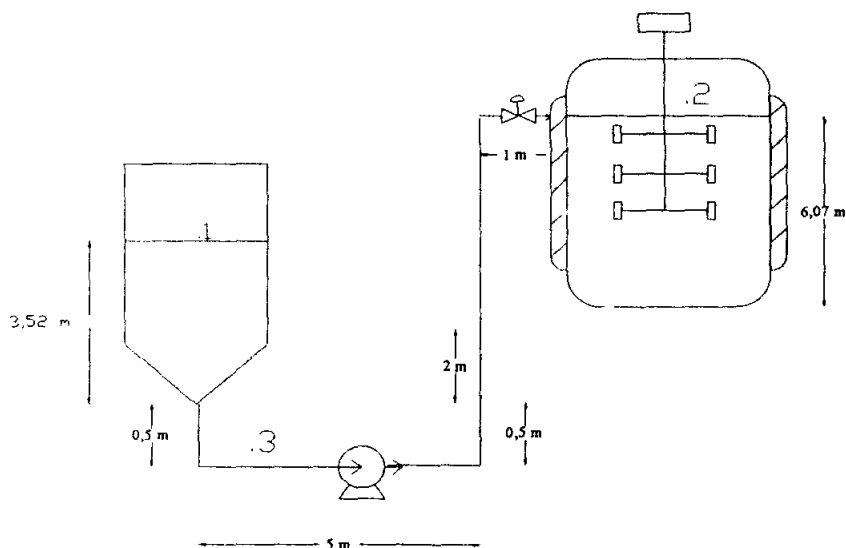
OD_{jaket} : 61,73 in

H_{jaket} : 88,23 in

Bahan konstruksi : SS-316 L

Jumlah tangki : 1 buah

20. Pompa (L-233)



Waktu operasi 1 jam

Kapasitas : 5008,61 kg/hari.

$$\text{Densitas Na}_2\text{CO}_3 (\rho_1) = 2,53 \text{ kg/L} = 2530 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/16,0185 \\ = 157,94 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Densitas NH}_4\text{OH} (\rho_2) = 0,9 \text{ kg/L} = 900 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/16,0185 \\ = 56,19 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Fraksi massa Na}_2\text{CO}_3 (x_1) = \text{Massa Na}_2\text{CO}_3 / \text{massa total} \\ = 500,86 / 5008,61 \\ = 0,1$$

$$\text{Fraksi massa NH}_4\text{OH} = \text{Massa NH}_4\text{OH} / \text{massa total} \\ = 4507,75 / 5008,61 \\ = 0,9$$

$$\text{Densitas campuran } (\rho) = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0,1}{2,53} + \frac{0,9}{0,9}} = 0,96 \text{ kg/L}$$

$$Z_2 - Z_1 = (6,07 + 2) - (3,52) = 4,55 \text{ m}$$

Viskositas yang digunakan adalah viskositas NH_4OH karena komponen terbesar dalam campuran bahan adalah NH_4OH yaitu sebesar 90%

$$\mu \text{ NH}_4\text{OH} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ (kg/m.s)}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa campuran larutan NH_4OH dan Na_2CO_3 ke Bioreaktor

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : $0,05 \text{ ft}^3/\text{s}$

Ukuran pipa : 2 in sch 40

$$\text{OD} = 2,88 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 2,47 \text{ in}$$

Efisiensi pompa : 49 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,5 Hp

Jumlah : 1 buah

21. Mixer II (D-240)

Fungsi : Untuk mencampur susu skim yang berbentuk padat ,sukrosa yang berbentuk padat, dan air

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Jenis pengaduk : *Six blade turbine*

Kapasitas : 65.897,23 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Densitas susu skim (ρ_1) = 1,03 kg/L

Densitas sukrosa (ρ_2) = 0,93 kg/L

Densitas air (ρ_3) = 0,99 kg/L

Fraksi massa susu skim (x_1) = Massa susu skim / massa total

$$= 14.024,09 / 65.897,23$$

$$= 0,2$$

Fraksi massa sukrosa (x_2) = Massa sukrosa / massa total

$$= 2.003,44 / 65.897,23$$

$$= 0,03$$

Fraksi massa air (x_3) = Massa air / massa total

$$= 49.869,69 / 65.897,23$$

$$= 0,76$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas campuran } (\rho) &= \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \frac{x_3}{\rho_3}} = \frac{1}{\frac{0,2}{1,033} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,76}{0,99}} \\ &= 1,0012 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

Cp susu skim (C_{p1}) = 1,2552 kJ/kg C

Cp sukrosa (C_{p2}) = 1,2594 kJ/kg C

Cp air (C_{p3}) = 4,184 kJ/kg C

$$\begin{aligned}C_p \text{ campuran} &= x_1 C_{p1} + x_2 C_{p2} + x_3 C_{p3} \\&= 0,2 \times 1,2552 + 0,0304 \times 1,2594 + 0,7568 \times 4,184 \\&= 3,47 \text{ kJ/kg K}\end{aligned}$$

Viskositas campuran yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan dengan cara melarutkan susu skim 25 gr ke dalam 75 gr air yaitu sebesar 0,82 cp

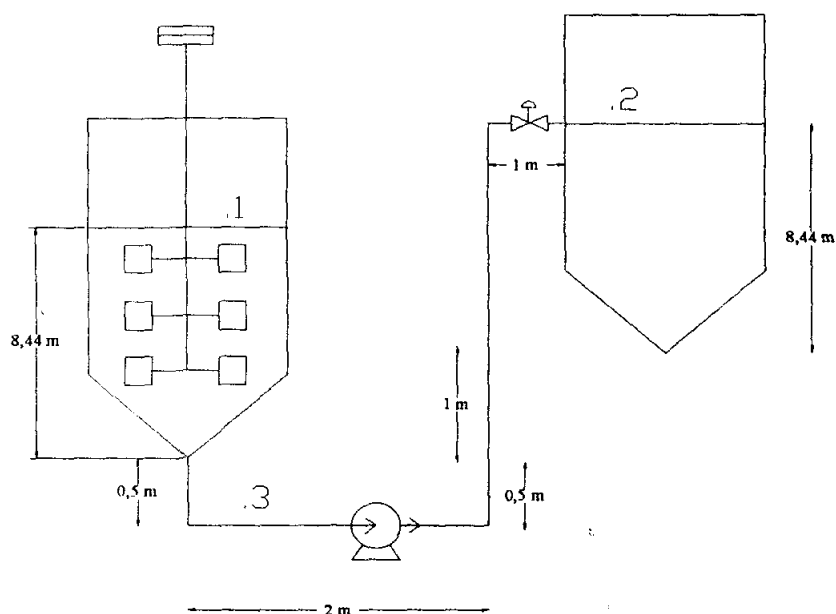
Dengan cara perhitungan yang sama pada perhitungan *Mixer* I didapat spesifikasi:

Kapasitas	: 65.897,23 kg
ID _{shell}	: 140,85 in
H _k	: 115,06 in
H _{shell}	: 281,71 in
H total	: 396,76 in
tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
tebal <i>head</i>	: 3/16 in
tebal alas	: 3/16 in
IDjaket	: 175,52 in
ODjaket	: 175,9 in
H _{jaket}	: 215,03 in
Diameter <i>impeller</i> (Da)	: 1,43 m
Jarak dasar tangki ke pengaduk (C)	: 1,19 m
Panjang <i>blade</i> (L)	: 0,36 m
Lebar <i>baffle</i> (J)	: 0,30 m
Lebar <i>blade</i> (W)	: 0,29 m
Bahan konstruksi	: SS-316 L
Jarak <i>impeller</i>	: 2,42 m

Power : 32 hp

Jumlah tangki : 1 buah

22. Pompa (L-241)



Waktu operasi : 1 jam

Kapasitas = 65.897,23 kg/hari

Viskositas campuran yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan dengan cara melarutkan susu skim 25 gr ke dalam 75 gr air yaitu sebesar 0,82 cp.

Densitas susu skim (ρ_1) = 1,03 kg/L

Densitas sukrosa (ρ_2) = 0,93 kg/L

Densitas air (ρ_3) = 0,99 kg/L

Fraksi massa susu skim (x_1) = Massa susu skim / massa total

$$= 14.024,09 / 65.897,23$$

$$= 0,2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fraksi massa sukrosa } (x_2) &= \text{Massa sukrosa} / \text{massa total} \\
 &= 2.003.44 / 65.897,23 \\
 &= 0,03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fraksi massa air } (x_3) &= \text{Massa air} / \text{massa total} \\
 &= 49.869,69 / 65.897,23 \\
 &= 0,76
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas campuran } (\rho) &= \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \frac{x_3}{\rho_3}} = \frac{1}{\frac{0,2}{1,033} + \frac{0,0304}{0,929} + \frac{0,7568}{0,9957}} \\
 &= 1,0012 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

$$Z_2 - Z_1 = 1 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa campuran larutan (susu skim, sukrosa, dan air) dari *Mixer II* ke *Intermediate tank I*

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : 0,65 ft³/s

Ukuran pipa : 6 in sch 40

$$\text{OD} = 6,63 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 6,07 \text{ in}$$

Efisiensi pompa : 79 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,75 Hp

Jumlah : 1 buah

23. Intermediate tank I (F-242)

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan sementara larutan protective agent (susu skim, sukrosa, air)

Kapasitas : 65.897,23 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Densitas susu skim (ρ_1) = 1,03 kg/L

Densitas sukrosa (ρ_2) = 0,93 kg/L

Densitas air (ρ_3) = 0,99 kg/L

Fraksi massa susu skim (x_1) = Massa susu skim / massa total

$$= 14.024,09 / 65.897,23$$

$$= 0,2$$

Fraksi massa sukrosa (x_2) = Massa sukrosa / massa total

$$= 2.003,44 / 65.897,23$$

$$= 0,03$$

Fraksi massa air (x_3) = Massa air / massa total

$$= 49.869,68 / 65.897,23$$

$$= 0,76$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas campuran } (\rho) &= \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \frac{x_3}{\rho_3}} = \frac{1}{\frac{0,2}{1,033} + \frac{0,0304}{0,929} + \frac{0,7568}{0,9957}} \\ &= 1,0012 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

Kapasitas tangki = 65.897,23 kg/hari

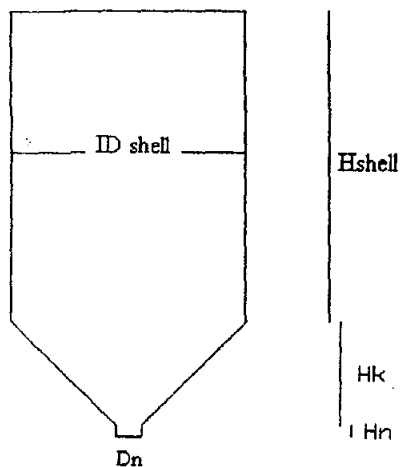
$$\begin{aligned}\text{Kecepatan volumetric} &= \frac{\text{kapasitas campuran}}{\rho} = \frac{65.897,23 \text{ kg/hari}}{1,0012 \text{ kg/lt}} \\ &= 65.817,69 \text{ lt/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volum campuran selama 1 hari} &= 65.817,69 \text{ lt/hari} \times 1 \text{ hari} \\ &= 65.817,69 \text{ lt} = 65,82 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volum campuran selama 1 hari untuk 1 tangki adalah 80 % volume *shell*, sehingga

$$\begin{aligned}\text{Volume 1 buah tangki} &= \frac{\text{Volume campuran}}{80\%} \\ &= \frac{65,82 \text{ m}^3}{0,8} = 82,27 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume 1 buah tangki = volume *shell* + volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

H_{shell} = tinggi *shell*

H_k = tinggi konis

H_n = tinggi *nozzle*

D_n = diameter *nozzle*

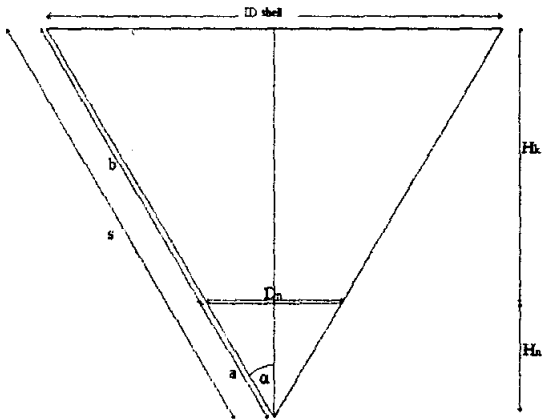
Menghitung volume *shell*

Dimana : $\frac{H_{shell}}{ID_{shell}} = 2$

Sehingga volume *shell* $= \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times H_{shell} = \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times 2 ID_{shell}$

$$= \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3$$

Menghitung volume konis



Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^\circ$ [29, p. 96]

Diameter *nozzle* (D_n) yang pada umumnya digunakan berkisar 4, atau 8, atau 10 inchi. [29, p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2032 m)

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{ID_{shell} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times \left(\frac{ID_{shell} - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$82,27 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - D_n^3)$$

$$82,27 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (ID_{shell}^3 - 0,2^3)$$

$$82,27 \text{ m}^3 = 1,57 ID_{shell}^3 + 0,23 ID_{shell}^3 - (1,9 \times 10^{-3})$$

$$ID_{shell} = 3,58 \text{ m} \times \frac{1 \text{ in}}{2,54 \text{ cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} = 140,85 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 2 ID_{shell} = 2 \times 3,58 = 7,16 \text{ m}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,2}{2 \cdot \tan 30} = 0,18 \text{ m}$$

$$H_k = \frac{ID_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{3,58}{2 \cdot \tan 30} - 0,18$$

$$= 2,92 \text{ m}$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{shell}} + H_k = 7,15 + 2,92$$

$$= 10,08 \text{ m}$$

$$= 396,76 \text{ in}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,2}{2}\right)^2 + 0,18^2}$$

$$= 0,2 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{ID_{\text{shell}}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3,58}{2}\right)^2 + (2,92 + 0,18)^2}$$

$$= 3,58 \text{ m}$$

$$b = s - a$$

$$= (3,58 - 0,2) \text{ m}$$

$$= 3,37 \text{ m}$$

Mencari tinggi campuran bahan di dalam tangki

Volume campuran = V_{shell} + volume tangki

$$65,82 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times ID_{\text{shell}}^2 \times H_{\text{campuran}} + \frac{\pi}{24 \text{ tg} 30} (D_{\text{shell}}^3 - Dn^3),$$

$$65,82 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{2} \times 3,57^2 \times H_{\text{campuran}} + \frac{\pi}{24 \text{ tg} 30} (3,57^3 - 0,2^3)$$

$$H_{\text{campuran}} = 5,52 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi campuran bahan dalam tangki (ZT)} &= H_{\text{campuran}} + H_k \\ &= 5,52 + 2,92 = 8,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{hidrostatik}} &= \frac{\rho_{\text{campuran}} \times H_{\text{campuran}}}{144} && [29, \text{p.46, Persm. 3.17}] \\ &= \frac{62,5 \times 5,52}{144} = 12,02 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 P_{\text{hidrostatik}} = 1,2 \times 12,02 = 14,42 \text{ psia}$$

Menentukan tebal *shell*

$$\text{tebal } shell = \frac{P \cdot ID_{shell}}{2 \cdot f_{ALL} \cdot E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

$$P = \text{tekanan design} = 14,42 \text{ psia}$$

$$ID_{shell} = \text{diameter } shell = 140,85 \text{ in}$$

$$f_{ALL} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

(*Stainless steel SS-316 L*)

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

(*double welded butt joint*)

[29, p.254, Tabel 13.2]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{tebal } shell = \frac{14,42 \times 140,85}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,18 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup atas yang berbentuk plat

$$\text{tebal head} = \frac{P.ID_{shell}}{2.f_{ALL}.E} + c \quad [29, \text{p. 45, Persm. 3.16}]$$

dimana,

P = tekanan design = 14,42 psia

ID_{shell} = diameter *shell* = 140,85 in

f_{ALL} = allowable stress = 23.000 lb/in²

(Stainless steel SS-316 L)

E = efisiensi sambungan = 80 %

(double welded butt joint),

[29, p.254, Tabel 13.2]

c = corrosion allowance = 1/8 in

$$\text{tebal head} = \frac{14,42 \times 140,85}{2 \times 23000 \times 0,8} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,18 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 3/16 in

Menentukan tebal tutup bawah yang berbentuk konis

$$\text{tebal alas} = \frac{P.ID_{shell}}{2.\cos\alpha(f_{ALL}E - 0,6P)} + c$$

dimana,

P = tekanan design = 14,42 psia

ID_{shell} = diameter *shell* = 140,85 in

f_{ALL} = allowable stress = 23.000 lb/in²

(Stainless steel SS-316 L)

E = efisiensi sambungan = 80 %

(double welded butt joint)

[29, p.254, Tabel 13.2]

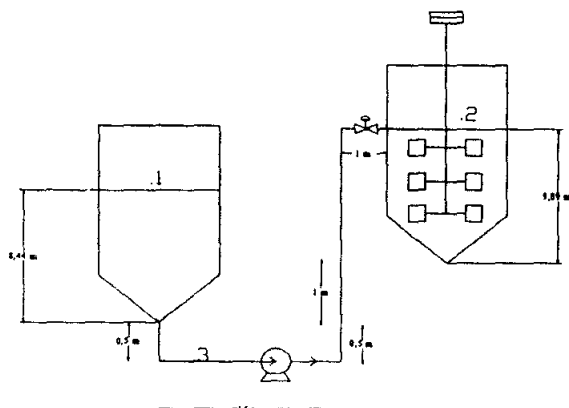
c = corrosion allowance = 1/8 in

$$\text{tebal alas} = \frac{14,42 \times 140,85}{2 \cdot \cos 30 (23000 \times 0,8 - 0,6 \times 14,42)} + \frac{1}{8}$$

$$= 0,1888 \text{ in}$$

Tebal *plate* komersial yang mendekati adalah 1/4 inSpesifikasi

Kapasitas	: 65.897,23 kg
ID _{shell}	: 140,85 in
H _k	: 115,06 in
H _{shell}	: 281,71 in
H total	: 396,76 in
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>head</i>	: 3/16 in
Tebal alas	: 1/4 in

24. Pompa (L-243)

Waktu operasi : 1 jam

Kapasitas = 65.897,23 kg/hari

Viskositas campuran yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan dengan cara melarutkan susu skim 25 gr ke dalam 75 gr air yaitu sebesar 0,82 cp.

Densitas susu skim (ρ_1) = 1,03kg/L

Densitas sukrosa (ρ_2) = 0,93 kg/L

Densitas air (ρ_3) = 0,99 kg/L

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa susu skim } (x_1) &= \text{Massa susu skim} / \text{massa total} \\ &= 14.024,09 / 65.897,23 \\ &= 0,2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa sukrosa } (x_2) &= \text{Massa sukrosa} / \text{massa total} \\ &= 2.003,44 / 65.897,23 \\ &= 0,03\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa air } (x_3) &= \text{Massa air} / \text{massa total} \\ &= 49.869,68 / 65.897,23 \\ &= 0,76\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Densitas campuran } (\rho) &= \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \frac{x_3}{\rho_3}} = \frac{1}{\frac{0,2}{1,033} + \frac{0,0304}{0,929} + \frac{0,7568}{0,9957}} \\ &= 1,0012 \text{ kg/L}\end{aligned}$$

$$Z_2 - Z_1 = (9,09 + 1) - 8,44 = 1,65 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa campuran larutan (susu skim, sukrosa, dan air) dari *intermediate tank* I ke *mixer* III

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : $0,65 \text{ ft}^3/\text{s}$

Ukuran pipa : 6 in sch 40

OD = 6,63 in

ID = 6,07 in

Efisiensi pompa : 79 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 1 Hp

Jumlah : 1 buah

30. Filter Asam Askorbat (H-250)

Digunakan untuk menyaring impurities yang terdapat pada asam askorbat

Massa asam askorbat yang diperlukan: 150,2582 kg/hari

Diasumsi impuritis yang terdapat dalam asam askorbat sebanyak 5% berat

= 7,9083 kg

Massa yang harus difiltrasi adalah 158,167 kg/hari

Ukuran partikel asam askorbat $150 \mu\text{m}$, dan ukuran impuritis dianggap lebih besar dari ukuran partikel asam askorbat.

Digunakan filter dengan ukuran *sieve* di bawah $150 \mu\text{m}$

Sieve designation = 125 μm

[55, Tabel 19.6]

Sieve opening (a) 0,125 mm

Nominal wire diameter (d) 0,091 mm

Tyler equivalent 115 mesh

Tipe screen: Vibrating screen

Perhitungan luas area filter

$$A = \frac{0,4 \times Ct}{Cu \times Foa \times Fs} = 0,112507 \text{ m}^2$$

$$= 1,210981 \text{ ft}^2 = 0,112507 \text{ m}^2$$

Dimana,

A = luas area screen

Ct = *throughflow rate* = 6,590271 kg/jam

Cu = *unit capacity* = 6,5 kg/jam

Foa = *open area factor* = $100 (a/a + d)^2$
 $= 33,4898 \%$

Fs = *slotted area factor* = 1

Dianggap efisiensi screen untuk tambahan luas adalah 50%

$$\text{Luas area screen} = 0,225013 \text{ m}^2 = 2,42196 \text{ ft}^2$$

$$= 348,7626 \text{ in}^2$$

Ukuran yang mendekati adalah 48 x 20 in dengan *power* 4 hp

Efisiensi motor: 55%

Power actual: 7,2727 Hp

Spesifikasi alat

Jenis filter : *vibrating screen*

Jumlah : 1 buah

Ukuran mesh : 115 mesh

Sieve opening : 0,125 mm

Nominal wire diameter : 0,091 mm

Luas area *screen* : 0,2250 m²

Power : 7,2727 hp

31. Conveyor V (J-251)

Fungsi : Untuk mengangkut asam askorbat ke *Intermediate Tank II*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data:

Jumlah = 1 buah

Kapasitas = 150,26 kg /hari = 1,8 ton/jam

Waktu operasi = 5 menit = 0,08 jam

Panjang *screw* (L) = 2 meter = 6,56 ft

Tinggi elevasi (T) = 4,92 ft (mengikuti tinggi *Intermediate Tank II*)

Densitas asam askorbat (ρ) = 103,01 lb/ft³

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi
[16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi:

Waktu operasi : 5 menit

Panjang *screw* (L) : 6,56 ft

Tinggi elevasi (T)	: 3,19 ft
Kapasitas	: 1,8 ton/jam
Kecepatan (ω)	: 32,42 rpm
Power motor	: 0,43 hp

32. *Intermediate tank II (F-252)*

Fungsi : Sebagai tempat penyimpanan sementara asam askorbat dari filter

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Kapasitas : 150,26 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Densitas asam askorbat} &= 1,65 \text{ kg/L} = 1.650 \text{ kg/m}^3 \\ &= 103,01 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}\quad [37]$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan *Intermediate Tank I* didapat spesifikasi :

Kapasitas	: 150,26 kg/hari
ID _{shell}	: 15,78 in
H _{shell}	: 31,56 in
H _k	: 6,74 in
H _{total}	: 38,3 in
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in

Tebal <i>head</i>	: 3/16 in
Tebal alas	: 3/16 in
Bahan konstruksi	: SS-316 L
Jumlah	: 1 buah

33. Conveyor VI (J-253)

Fungsi : Untuk mengangkut asam askorbat ke *Mixer II*
 Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

Jumlah	= 1 buah
Kapasitas	= 150,26 kg /hari = 1,89 ton/jam
Waktu operasi	= 5 menit = 0,08 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 25 meter = 82,02 ft
Tinggi elevasi (T)	= 33,06 ft (mengikuti tinggi <i>Mixer II</i>)
Densitas asam askorbat (ρ)	= 103,01 lb/ft ³

Harga F = 1,8 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi
 [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi:

Waktu operasi	: 5 menit
Panjang <i>screw</i> (L)	: 82,02 ft
Tinggi elevasi (T)	: 33,06 ft
Kapasitas	: 1,81 ton/jam
Kecepatan (ω)	: 32,42 rpm
Power motor	: 1,69 hp

34. Bioreaktor (R-310)

Kapasitas total: 67.616,18 kg/hari

Volume total = massa total/densitas campuran

$$= 68648,91875 \text{ L/hari}$$

Mencari densitas campuran

Komponen	kg/hari
Susu	51588,6429
Asam laktat	6010,3273
Na ₂ CO ₃ dlm NH ₄ OH	5008,6061
Biomassa	5008,6061
Jumlah	67616,1824

Densitas masing-masing bahan			Fraksi massa
Susu	1,03	kg/L	0,762962963
Asam laktat	1,2	kg/L	0,088888889
Na ₂ CO ₃	2,53	kg/L	0,007407407
Biomassa	0,6	kg/L	0,074074074
NH ₄ OH	0,9	kg/L	0,066666667

Densitas campuran 0,9850 kg/L

Menghitung diameter dan tinggi bioreaktor

Diasumsi bioreaktor yang digunakan terisi 80%

Volume bioreaktor yang digunakan = 85811,1 L = 90.000 L

Bahan yang digunakan *Stainless steel* (SS): 316 L

Allowable stress: 23000 lb/in²

Corrosion allowance: 1 mm = 0,03937 in

Sambungan yang digunakan: *double welded butt joint*

Efisiensi sambungan: 0,8

[29]

H/Dt: 1,5

Bentuk bioreaktor adalah *vessel* dengan bagian bawah dan bagian atas berbentuk *dished head*

Volume bioreaktor = volume *vessel* + volume tutup atas + volume tutup bawah

$$90.000 \text{ L} = (22/7) \times Dt^2 \times 2Dt/4 + 2 \times 0,000049 \times Dt^3$$

$$Dt = 42,4245 \text{ dm}$$

$$= 4,2425 \text{ m} = 167,0256 \text{ in}$$

$$H = 1,5 \text{ Dt} = 6,3637 \text{ m} = 250,5384 \text{ in}$$

Mencari tinggi cairan dalam bioreaktor

Volume cairan dalam *shell* = volume total cairan - volume tutup bawah

$$\text{Volume tutup bawah} = \text{volume } dished \text{ head} = 0,000049 \times Dt^3$$

$$= 0,00374 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume cairan dalam } shell = 85,8074 \text{ m}^3$$

$$\text{Tinggi cairan dalam } shell = 6,0677 \text{ m}$$

Menghitung tebal *shell*

Tekanan operasi = tekanan hidrostatik 41,5031 psi (*gauge*)

Tekanan desain = 1,3 x tekanan operasi 53,9541 psi (*gauge*)

$$\text{Tebal } shell \text{ (ts)} = \frac{P \cdot Di}{2 \cdot (f \cdot E - 0,6 \cdot P)}$$

$$= 0,2453 \text{ in}$$

$$= 0,9658 \text{ mm}$$

Tebal *shell* + *corrosion allowance* = 0,2847 in

Ketebalan *shell* yang mendekati adalah 5/16 in

Menghitung tebal dan tinggi *dished head*

Inside crown radius = *icr* = 6% x *Dt* = 10,0215 in

Crown radius = *r* = *Dt* = 167,0256 in

a = *Dt*/2 = 83,51281402 in

AB = *a* - *icr* = 73,4913 in

BC = *r* - *icr* = 157,0041 in

b = *r* - $\sqrt{(BC^2 - AB^2)}$ = 28,2837 in

= 0,718406521 m

Tebal *dished head* = $\frac{P \cdot r \cdot W}{2 \cdot (f \cdot E - 0,2 \cdot P)}$

= 0,4339 in

= 1,7081 mm

Dimana,

W = 0,25 x (3 + $\sqrt{r/icr}$)

= 1,770620726

Tebal *dished head* + *corrosion allowance* = 0,10662 in

= 0,41975 mm

Ketebalan *shell* yang mendekati adalah 3/16 in

Tinggi *dished head* = tebal *dished head* + *b* + *sf*

Dimana $sf = 2$ in

Tinggi *dished head* = 30,3903 in

$$= 0,7719 \text{ m}$$

Tinggi tangki total = tinggi *shell* + 2 x tinggi *dished head*

$$= 311,3191 \text{ in}$$

$$= 7,9075 \text{ m}$$

Perhitungan pengaduk

Jenis pengaduk yang digunakan *six flat-blade turbine*

Diameter *impeller* (Da) = 0,4 x diameter *shell*

$$= 1,6970 \text{ m}$$

$$J/Dt = 1/12$$

$$J = 0,3535 \text{ m}$$

$$W/Da = 1/5$$

$$W = 0,3394 \text{ m}$$

$$C/Dt = 1/3$$

$$C = 1,4142 \text{ m}$$

$$L/Da = 1/4$$

$$L = 0,4242 \text{ m}$$

Kecepatan pengaduk (N): 120 rpm = 2 per detik

viskositas campuran = $\sum \mu^3 \times \text{fraksi massa}$

$$= 1,3232 \text{ cp}$$

$$= 0,0013 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu} = 4287,0943$$

Dengan $Da/W = 5$ dan $Dt/J = 12$, dari GK Figure 3.4-5, didapat $N_p: 5$

$$sg \text{ bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ air}} = 0,9850$$

$$\text{jumlah } impeller = \frac{sg \times h}{Dt} = 1,4087 \text{ 2 buah}$$

Dimana h = tinggi cairan dalam bioreaktor

$$\text{Jarak tiap } impeller = \frac{(\text{tinggi cairan dalam tangki} - C)}{\text{jumlah } impeller} = 2,32679 \text{ m}$$

$$N_p = \frac{P}{\rho \times N^3 \times Da^5}$$

$$\begin{aligned} P &= N_p \times N^3 \times Da^5 \times \rho \\ &= 554.448,28 \text{ J/s} \\ &= 743,5272691 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi} = 80\%$$

$$Power = 929,4090864 \text{ hp}$$

Perhitungan jaket pemanas

Agen pemanas yang digunakan adalah *steam*

Suhu bioreaktor dijaga pada 37°C

Jumlah *steam* yang diperlukan 755.673.670,19 kJ/hari

Steam yang digunakan bersuhu: 140°C

Tekanan: 3,1630 bar

Steam yang dihasilkan adalah *wet steam* 90 %

$$\text{Entalpi sat'd vapor} = 2.733,9 \text{ kJ/kg} \quad [24]$$

$$\text{Entalpi liquid} = 589,1 \text{ kJ/kg} \quad [24]$$

$$\begin{aligned} \text{Panas laten steam} &= 0,9 \times (\text{entalpi sat'd vapor} - \text{entalpi liquid}) \\ &= 1.930,3200 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan massa steam} = 391.475,8538 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju volumetrik steam yang diperlukan (v)} &= \frac{\text{kebutuhan massa steam}}{\text{massa jenis steam}} \\ &= 199.222 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 2,30581 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Dimana,

$$\text{sg steam pada suhu } 150^\circ\text{C} = 0,5089 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{massa jenis steam} = 1,9650 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{tebal shell} = 5/16 \text{ in} = 0,0079375 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{diameter luar (OD) shell} &= Dt + 2 \times \text{tebal shell} \\ &= 4,2583 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dianggap bahwa tebal jaket sama dengan tebal dished head} &= 3/16 \text{ in} \\ &= 0,0047625 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Ditentukan kecepatan alir steam} = 1,50 \text{ m/s}$$

$$\text{Laju volumetrik} = A \times v$$

$$2,3058 \text{ m}^3/\text{s} = 0,25 \times (22/7) \times [(\text{diameter shell+jaket})^2 - (\text{diameter luar shell})^2] \times v$$

$$\text{Diameter shell+jaket (Di jaket)} = 4,4822 \text{ m}$$

Di jaket = OD *shell* + jacket *spacing*

$$\begin{aligned}\text{Jacket spacing} &= \text{Di jaket} - \text{OD shell} \\ &= 0,2238 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diameter luar jaket} &= \text{Di jaket} + \text{tebal jaket} \\ &= 4,4917 \text{ m}\end{aligned}$$

Tinggi jaket pemanas sama dengan tinggi cairan dalam tangki 6,0677 m

Sparger untuk *flushing* nitrogen

■ Perhitungan pipa untuk mengalirkan nitrogen

Volume bioreaktor: 90.000 L = 90 m³

Ditentukan waktu yang diperlukan untuk *flushing* awal adalah 1 jam, sehingga

flowrate nitrogen yang diperlukan adalah 90 m³/jam = 3.178,2 ft³/jam = 0,88 ft³/s

Massa jenis nitrogen = 0,07 ft³/lb

Diasumsi aliran dalam pipa nitrogen turbulen, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{ID opt} &= 3,9 \times Q_F^{0,45} \times \rho_{\text{nitrogen}}^{0,13} && [26, \text{p.496}] \\ &= 3,9 \times 0,88^{0,45} \times 0,07^{0,13} = 2,61 \text{ in}\end{aligned}$$

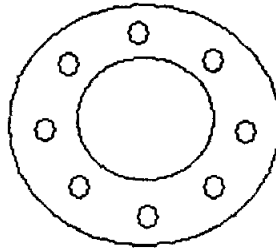
ID pipa komersial yang mendekati adalah 2,9 in, ukuran pipa 3 in sch. 40

$$\text{OD} = 3,5 \text{ in} = 0,2917 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 2,9 \text{ in} = 0,2471 \text{ ft}$$

$$A = 0,04587 \text{ ft}^2$$

Desain fisik *sparger*



Ring sparger

Jenis *sparger* yang digunakan: *ring*

ID bioreaktor: 167,03 in

OD *sparger* = OD pipa untuk mengalirkan gas nitrogen = 3,5 in

Panjang pipa *sparger* = keliling lingkaran

$$D = 0,6 \times 167,03 - 2 \left(\frac{1}{2} \times 3,5 \right) = 96,88 \text{ in}$$

$$\text{Panjang pipa } sparger (L) = \pi \times D = \pi \times 96,88 = 304,36 \text{ in}$$

$$\text{Luas area bioreaktor} = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 167,03^2 = 21.911,84 \text{ in}^2 = 14,14 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah lubang pada } sparger = \frac{5 \text{ lubang}}{0,1 \text{ m}^2 \text{ luas bioreaktor}}$$

$$= \frac{5}{0,1 \text{ m}^2} \times 14,14 \text{ m}^2 = 707$$

Sparger hole diameter = 2-6 mm

[23, p.172]

Diameter *sparger* yang digunakan = 2 mm

Spesifikasi alat

Bentuk *vessel* berpengaduk dengan bagian atas dan bawah berbentuk *dished head*

Jumlah : 1

Material : SS 316L

Tinggi <i>vessel</i>	: 6,3637 m
Diameter <i>vessel</i>	: 4,2425 m
Tinggi dished head	: 0,7719 m
Tinggi total	: 7,9075 m
Tebal <i>vessel</i>	: (5/16) in
Tebal head	: (3/16) in
Diameter dalam jaket pemanas	: 4,4822 m
Diameter luar jaket pemanas	: 4,4917 m
Tinggi jaket	: 6,0677 m
Jumlah <i>impeller</i>	: 2 buah
Jenis <i>impeller</i>	: six flat-blade turbine

35. Mikrofilter (H-320)

Jenis membran yang digunakan: Polysulfone membran (Amicon)

Tipe membran	: PM-30
Berat Molekul	: 30 KDa
Diameter dalam	: 1,1 mm
Ketebalan	: 0,15 mm
Diameter luar	: 1,4 mm
Panjang <i>channel</i>	: 1,09 m
Diameter <i>housing</i>	: 2,52 m

Bahan masuk	(kg/hari)	Bahan keluar	(kg/hari)
Biomassa	108,5267	Retentate	575,4230
Protein	1.650,8366	Biomassa	106,5733
Air	46.884,9701	Air	468,8497
Asam laktat	8.616,9073	Permeate	56.685,8178
		Protein	1.650,8366
		Air	46.416,1204
		Asam laktat	8.616,9073
		Biomassa	1,9535
Total	57.261,2408	Total	57.261,2408

Mass Transfer Control

Mass transfer coeff $k = 0.816 \cdot (j \cdot D_s^2/L)^{0,33}$

$$k = 0,000239723 \text{ cm/s}$$

Dimana,

j = fluid shear *rate* pada permukaan membran = 6000 1/s

D_s = coeff difusi pada air = 0,0000006 cm²/s

Flux membran, $J = k \cdot \ln(C_g / C_b)$

$$J = 0,001495142 \text{ cm/s } 0,0538 \text{ m/jam}$$

Dimana,

C_g = konsentrasi biomassa pada retentate = 925,9365 kg/m³

C_b = konsentrasi biomassa pada permeate = 1,8109 kg/m³

Pressure drop = 6 bar = 600.000 N/m²

Volume total permeate, $V_p = V_d \cdot S / C_b$

$$V_p = 2954,2373$$

Dimana,

V_d = volume permeate = 0,9036

volume bahan masuk

S= jumlah solid yang tertahan = 5.920,7362 kg

Waktu proses per unit area, $t = Vp/J$

$$t = 54.885,8375 \text{ m}^2 \cdot \text{h}$$

$$= 590.771,8707 \text{ ft}^2 \cdot \text{h}$$

Luas permukaan untuk masing-masing cartridge, $A = 2 \cdot (22/7) \cdot r \cdot L \cdot n$

$$A = 3,7683 \text{ m}^2$$

$$= 40,5605 \text{ ft}^2$$

Dimana,

r = jari-jari dalam tiap fiber = 0,00055 m

n = total fiber dalam 1 cartridge = 1000

Digunakan luas permukaan cartridge = 53 ft² (Amicon)

1 *housing* terdiri atas 2000 cartridge

Total luas permukaan = 106000 ft²

Waktu yang diperlukan untuk filtrasi = 5,5733 jam

$$= 6 \text{ jam}$$

Luas area tiap fiber, $A_f = (22/7) \cdot R^2$

$$A_f = 0,00000154 \text{ m}^2$$

Total area 0,00154 m²

Luas persegi di sekeliling fiber = 0,00000196 m²

Porositas = 1 - luas persegi di sekeliling fiber/luas lingkaran fiber

$$= 0,2143$$

Luas area cartridge = $0,00196 \text{ m}^2$

Diameter cartridge = $0,0499 \text{ m}$

$$= 0,05 \text{ m}$$

Luas persegi di sekeliling fiber = $0,0025 \text{ m}^2$

Luas area cartridge = $0,0020 \text{ m}^2$

Hole ratio = $0,2143$

Housing area = 5 m^2

Diameter dalam *housing* = $2,5226 \text{ m}$

$$= 2,52 \text{ m}$$

Ketebalan Shell

$$e = \frac{P_i D_i}{2f - P_i} = 0,0048 \text{ m} = 4,7659 \text{ mm}$$

Dimana,

$P_i = 1,1 \times \text{tekanan operasi} = 660000 \text{ N/m}^2$

$f = \text{design stress} = 1,75\text{E}+08 \text{ N/m}^2$

End Thickness

$$e = \frac{P_i R_c C_s}{2fJ + P_i (C_s - 0.2)} = 0,0048 \text{ m} = 4,8168 \text{ mm}$$

Dimana,

$R_c = \text{crown radius} = D_i 2,5226$

$$R_c/R_k = 0,06$$

$$J = \text{joint factor} = 0,8$$

$$C_s = 0,8112$$

Ketebalan untuk atas dan bawah 4,8168 mm

$$\text{Corrosion allowance} = 2 \text{ mm}$$

$$\text{Ketebalan total} = \text{tebal minimum} + \text{corrosion allowance}$$

$$= 6,8168 \text{ mm } 0,2684 \text{ in}$$

Ketebalan *plate* yang mendekati adalah (5/16) in = 7,9375 mm

Perpipaan

$$\text{Data : } P_i = 6 \text{ bar} = 600000 \text{ N/m}^2$$

$$r = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 0,0055 \text{ Ns/m}^2$$

$$s_d = 41,4 \text{ N/mm}^2$$

Pipa untuk Bahan Masuk

$$G = 3,3056 \text{ kg/s}$$

$$\text{Diameter optimum} = 260 G^{0,52} r^{-0,37}$$

$$= 37,5822 \text{ mm} = 1,4796 \text{ in}$$

Diameter pipa yang paling mendekati (OD) adalah 1,66 in = 42,164 mm

$$\text{Schedule number} = \frac{P \cdot 1000}{s} = 14,4928$$

Karakteristik pipa

Nominal pipe size : 1,25 in = 31,75 mm

OD : 1,66 in = 42,164 mm

Schedule number : 40

ID : 1,38 in = 35,052 mm

Luas area per pipa : $0,0104 \text{ ft}^2 = 1,4976 \text{ in}^2$

Pipa untuk Permeate

$G = 2,9869 \text{ kg/s}$

Diameter optimum = $260 G^{0,52} r^{-0,37}$
= 35,6523 mm 1,4036 in

Diamater pipa yang paling mendekati (OD) adalah 1,66 in = 42,164 mm

Schedule number = $\frac{P \cdot 1000}{s} = 14,4928$

Karakteristik pipa

Nominal pipe size : 1,25 in = 31,75 mm

OD : 1,66 in = 42,164

Schedule number : 40

ID : 1,38 in = 35,052 mm

Luas area per pipa : $0,0104 \text{ ft}^2 = 1,4976 \text{ in}^2$

Pipa untuk Retentate

$G = 0,3187 \text{ kg/s}$

Diameter optimum = $260 G^{0,52} r^{-0,37}$
= 11,1360 mm = 0,4384 in

Diameter pipa yang paling mendekati (OD) adalah 0,54 in = 13,716 mm

$$\text{Schedule number} = \frac{P \cdot 1000}{s} = 14,4928$$

Karakteristik pipa

Nominal pipe size : 0,25 in = 6,35 mm

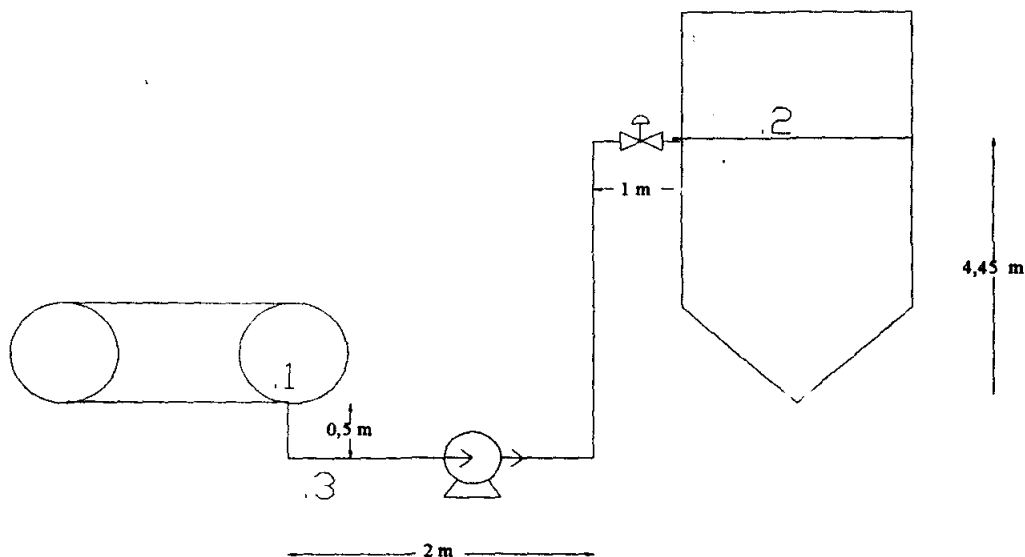
OD : 0,54 in = 13,716 mm

Schedule number : 40

ID : 0,364 in 9,2456 mm

Luas area per pipa : 0,00072 ft² 0,10368 in²

36. Pompa (L-321)



Waktu operasi : 6 jam

Kapasitas = 6.394,3217 kg/hari = 1065,72 kg/jam

Densitas campuran diperoleh dari komponen (biomassa dan air) = 0,62 kg/L

$$Z_2 - Z_1 = 4,45 - 0,5 = 3,95 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa larutan (air,dan biomassa) dari
Mikrofilter ke *Intermediate Tank* III

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : $0,1 \text{ ft}^3/\text{s}$

Ukuran pipa : $2 \frac{1}{2} \text{ in sch 40}$

OD = 2,88 in

ID = 2,47 in

Efisiensi pompa : 55 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,25 Hp

Jumlah : 1 buah

37. *Intermediate tank* III (F-322)

Fungsi : Sebagai tangki penyimpanan sementara hasil retentate dari
Mikrofilter

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah
berbentuk konis

Kapasitas : 6.394,3217 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan :

Densitas campuran diperoleh dari komponen (biomassa dan air) = 0,62 kg/L

Dengan cara yang sama pada perhitungan *Intermediate Tank I* didapat spesifikasi :

Kapasitas : 6.394,3217 kg/hari

ID_{shell} : 76,01 in

H_{shell} : 152,03 in

H_k : 58,90 in

H_{total} : 210,93 in

Tebal *shell* : 3/16 in

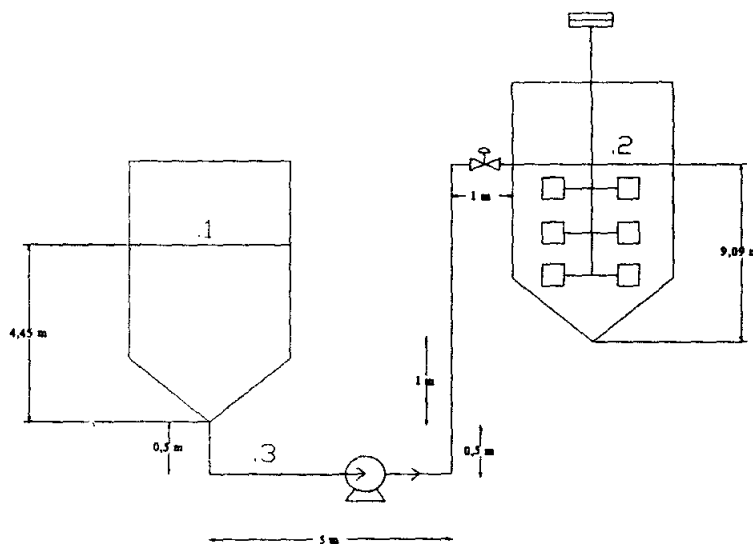
Tebal *head* : 3/16 in

Tebal alas : 3/16 in

Bahan konstruksi : SS-316 L

Jumlah : 1 buah

38. Pompa (L-323)



Waktu operasi : 1 jam

Kapasitas = 6.394,3217 kg/hari

Densitas campuran diperoleh dari komponen (biomassa dan air) = 0,62 kg/L

$$Z_2 - Z_1 = (9,09 + 1) - 4,45 = 5,64 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama pada perhitungan pompa sebelumnya didapat spesifikasi:

Fungsi : Untuk memompa larutan (air, dan biomassa) dari

Intermediate Tank III ke Mixer III

Tipe : pompa centrifugal

Rate volumetrik : 0,1 ft³/s

Ukuran pipa : 2 ½ in sch 40

$$OD = 2,88 \text{ in}$$

$$ID = 2,47 \text{ in}$$

Efisiensi pompa : 55 %

Efisiensi motor : 80%

Power pompa : 0,5 Hp

Jumlah : 1 buah

39. Mixer III (D-410)

Fungsi : Untuk mencampur susu skim yang berbentuk padat, sukrosa yang berbentuk padat, air, dan biomassa

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Jenis pengaduk : *Six blade turbine*

Kapasitas : 72.441,49 kg/hari

Asumsi : 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Densitas susu skim (ρ_1) : 1,03 kg/L

Densitas sukrosa (ρ_2) : 0,93 kg/L

Densitas air (ρ_3) : 0,99 kg/L

Densitas biomassa (ρ_4) : 0,6 kg/L

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa susu skim } (x_1) &= \text{Massa susu skim} / \text{massa total} \\ &= 14.024,09 / 72.441,49 \\ &= 0,19\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa sukrosa } (x_2) &= \text{Massa sukrosa} / \text{massa total} \\ &= 2.003,44 / 72.441,49 \\ &= 0,03\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa air } (x_3) &= \text{Massa air} / \text{massa total} \\ &= 50.343,27 / 72.441,49 \\ &= 0,7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa biomassa } (x_4) &= \text{Massa biomassa} / \text{massa total} \\ &= 5.920,74 / 72.441,49 \\ &= 0,08\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fraksi massa asam askorbat } (x_5) &= \text{Massa asam askorbat} / \text{massa total} \\ &= 150,26 / 72.441,49 \\ &= 0,002\end{aligned}$$

$$\text{Densitas campuran } (\rho) = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \frac{x_3}{\rho_3} + \frac{x_4}{\rho_4} + \frac{x_5}{\rho_5}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,19}{1,03} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,7}{0,99} + \frac{0,08}{0,6} + \frac{0,002}{1,65}}$$

$$= 0,95 \text{ kg/L}$$

Viskositas campuran yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan dengan cara melarutkan susu skim 25 gr ke dalam 75 gr air yaitu sebesar 0,82 cp

Dengan cara perhitungan yang sama pada perhitungan *Mixer I* didapat spesifikasi

Kapasitas	: 72.441,49 kg
ID_{shell}	: 145,13 in
Tinggi konis (H_k)	: 118,76 in
Tinggi <i>shell</i> (H_{shell})	: 290,27 in
Tinggi tangki total (H_{total})	: 409,03 in
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>head</i>	: 3/16 in
Tebal alas	: 1/4 in
Diameter <i>impeller</i> (Da)	: 1,47 m
Jarak dasar tangki ke pengaduk (C)	: 1,23 m
Panjang <i>blade</i> (L)	: 0,37 m
Lebar <i>baffle</i> (J)	: 0,31 m
Lebar <i>blade</i> (W)	: 0,29 m
Bahan konstruksi	: (<i>Stainless steel</i> SS-316 L)
Jarak <i>impeller</i>	: 2,62 m
<i>Power</i>	: 35 Hp
Jumlah tangki	: 1 buah

40. Freeze dryer (B-420)

Kapasitas bahan yang masuk *freeze dryer* = 72.441,49 kg/hari , yang terdiri dari:

Kapasitas *freeze dryer* komersial = 3.360 kg/hari [56]

Jumlah *freeze dryer* yang diperlukan = $\frac{72.441,49}{3.360} = 21,55 \approx 22$ buah

Spesifikasi untuk 1 buah *freeze dryer* :

Material : *stainless steel* SS-316 L

Drying pressure : 0,3-4 mbar

Drying chamber : 2,02 meter

Panjang chamber : 9 meter

Power : 26,8 hp

44. Conveyor VII (J-421)

Fungsi : Untuk mengangkut *powder* ke *Centrifugal Mill*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

Jumlah *conveyor* = 22

Kapasitas = 1.118,89 kg /hari = 0,56 ton/jam

Waktu operasi = 120 menit = 0,5 jam

Panjang *screw* (L) = 5 meter = 16,4 ft

Tinggi elevasi (T) = 8,04 ft (mengikuti tinggi
centrifugal mill)

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,87 kg/L

Harga $F = 0,8$ [16, Tabel 5.4(b)], harga $S = 54$ dan diameter *conveyor* = 6 inchi [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor* I didapat spesifikasi

- Nama : *Screw conveyor*
- Waktu operasi : 120 menit
- Panjang *screw* (L) : 16,4 ft
- Tinggi elevasi (T) : 8,04 ft
- Kapasitas : 0,56 ton/jam
- Kecepatan (ω) : 19,08 rpm
- *Power* motor : 0,43 hp

45. *Centrifugal Mill* (C-430)

Fungsi : Untuk menghaluskan *powder*

Tipe : ZR-120

Data pada mesin :

- Laju alir produk = $0,5-8 \text{ m}^3/\text{jam}$
- *Power* = $55 \text{ kW} = 73,76 \text{ Hp}$
- Tingkat kehalusan *powder* = $0,1-0,8 \text{ mm}$
- Ukuran mesin = $1667 \times 2450 \text{ mm (L x H)}$ [57]

Massa *powder* yang dihasilkan = $24.615,69 \text{ kg/hari}$

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = $0,87 \text{ kg/L}$

Laju alir produk yang akan dihasilkan = $28,29 \text{ m}^3/\text{hari}$

Mesin centrifugal mill akan beroperasi selama 4 jam/hari sehingga laju alir produk

$$\text{yang akan dihasilkan sebesar} = \frac{28,29}{4} = 7,07 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Laju alir produk yang dihasilkan masih memenuhi *range* pada mesin *centrifugal mill*. Jumlah mesin yang dibutuhkan sebanyak 1 buah.

46. *Conveyor VIII (J-431)*

Fungsi : Untuk mengangkat *powder* ke *Intermediate Tank IV*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

Jumlah <i>conveyor</i>	= 1
Kapasitas	= 24.615,69 kg /hari = 11,21 ton/jam
Waktu operasi	= 240 menit = 4 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 20 meter = 65,62 ft
Tinggi elevasi (T)	= 23,6 ft (mengikuti tinggi <i>Intermediate Tank IV</i>)

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,92 kg/L

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 96 dan diameter *conveyor* = 9 inchi [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi

- Nama : *Screw conveyor*
- Waktu operasi : 240 menit
- Panjang *screw* (L) : 65,62 ft
- Tinggi elevasi (T) : 24,79 ft

- Kapasitas : 6,15 ton/jam
- Kecepatan (ω) : 117,72 rpm
- *Power* motor : 3 Hp

47. *Intermediate tank IV (F-440)*

Fungsi : Sebagai tangki penyimpanan *powder* sementara

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *flat* dan tutup bawah berbentuk konis

Kapasitas : 24.615,69 kg/hari

Asumsi 1 tahun terdapat 300 hari kerja

1 bulan terdapat 30 hari kerja

Jumlah : 1 buah

Perhitungan :

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,87 kg/L

Dengan cara yang sama pada perhitungan *Intermediate Tank I* didapat spesifikasi

Kapasitas	: 24.615,69 kg/hari
ID_{shell}	: 106,21 in
H_{shell}	: 212,43 in
H_k	: 85,05 in
H_{total}	: 297,48 in
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>head</i>	: 3/16 in
Tebal alas	: 3/16 in

Bahan konstruksi : *Stainless steel SS-316 L*
 Jumlah : 1 buah

48. Conveyor IX (J-441)

Fungsi : Untuk mengangkat *powder* ke *Automatic Capsule Filling Machine*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

Jumlah *conveyor* = 34
 Kapasitas = 1.318,99 kg /hari = 0,07 ton/jam
 Waktu operasi = 1200 menit = 20 jam
 Panjang *screw* (L) = 5 meter = 16,40 ft
 Tinggi elevasi (T) = 6,23 ft (mengikuti tinggi *automatic capsule filling machine*)

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,92 kg/L

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi

- Nama : *Screw conveyor*
- Waktu operasi : 1200 menit
- Panjang *screw* (L) : 16,40 ft
- Tinggi elevasi (T) : 6,23 ft
- Kapasitas : 0,07 ton/jam
- Kecepatan (ω) : 2,13 rpm

- *Power motor* : 0,43 hp

49. *Automatic Capsule Filling Machine (X-510)*

Fungsi : Untuk mengisi *powder* ke dalam kapsul

Tipe : NJP-2000

Data pada mesin :

- Kapasitas pengisian kapsul = 120.000 kapsul/jam
- *Power* = 3,7 kW = 4,96 Hp
- Ukuran *machine* = 970 x 820 x 1900 mm (LxWxH) [58]

Powder yang dihasilkan = 24.615,6976 kg /hari = $2,46 \times 10^{10}$ mg /hari

Pada proses pengisian diasumsi *powder* yang hilang sebanyak 1,1 %

Sehingga *powder* yang dihasilkan untuk menjadi kapsul sebesar

$$= 24.615,69 - 1,1 \% \times 24.615,69 = 24.340 \text{ kg/hari}$$

Kapsul yang akan dibuat memiliki berat 600 mg

Sehingga kapsul yang perlu dihasilkan dalam sehari yaitu sebesar

$$= \frac{2,434 \times 10^{10} \text{ mg / hari}}{600 \text{ mg / kapsul}} = 40.569.711 \text{ kapsul /hari}$$

Untuk 1 mesin pengisian memiliki kapasitas 120.000 kapsul/jam. Waktu operasi

mesin = 20 jam

Sehingga dalam sehari 1 mesin dapat menghasilkan

$$= 120.000 \text{ kapsul/jam} \times 20 \text{ jam /hari} = 2.400.000 \text{ kapsul/hari}$$

$$\text{Banyak mesin yang dibutuhkan} = \frac{40.569.711 \frac{\text{kapsul}}{\text{hari}}}{2.400.000 \frac{\text{kapsul}}{(\text{hari})(\text{mesin})}} = 16,9 \approx 17 \text{ mesin}$$

Sebagai cadangan maka dibutuhkan 2 x jumlah mesin = 2 x 17 = 34 mesin

50. Conveyor X (J-511)

Fungsi : Untuk mengangkut *powder* ke *Capsule Polishing Machine*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

Jumlah <i>conveyor</i>	= 34
Kapasitas	= 1.193,23 kg/hari = 0,06 ton/jam
Waktu operasi	= 1200 menit = 20 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 5 meter = 16,4 ft
Tinggi elevasi (T)	= 3,97 ft (mengikuti tinggi <i>Capsule Polishing Machine</i>)

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,92 kg/L

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inci [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi

- Nama : *Screw conveyor*
- Waktu operasi : 1200 menit
- Panjang *screw* (L) : 16,40 ft
- Tinggi elevasi (T) : 3,97 ft
- Kapasitas : 0,06 ton/jam
- Kecepatan (ω) : 2,13 rpm
- *Power* motor : 0,43 hp

51. Capsule Polishing Machine (X-520)

Fungsi : Untuk membersihkan sisa *powder* yang ada pada kapsul

Tipe : YPJ-II

Data pada mesin

- Kapasitas = 7000 kapsul/menit = 420.000 kapsul/jam
- *Power* = 185 W = 0,25 Hp
- Ukuran *machine* = 1310 mm×405mm×1200mm (L×W×H) [58]

Kapsul yang dihasilkan dalam sehari = 40.569.711 kapsul /hari

Untuk 1 mesin pengisian memiliki kapasitas 420.000 kapsul/jam. Waktu operasi mesin = 20 jam

Sehingga dalam sehari 1 mesin dapat menghasilkan

$$= 420.000 \text{ kapsul/jam} \times 20 \text{ jam /hari} = 8.400.000 \text{ kapsul/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Banyak mesin yang dibutuhkan} &= \frac{40.569.711 \frac{\text{kapsul}}{\text{hari}}}{8.400.000 \frac{\text{kapsul}}{(\text{hari})(\text{mesin})}} \\ &= 4,8 \approx 5 \text{ mesin} \end{aligned}$$

Sebagai cadangan maka dibutuhkan 2 x jumlah mesin = 2 x 5 = 10 mesin

52. Conveyor XI (J-521)

Fungsi : Untuk mengangkut *powder* ke *Inspection Machine*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

$$\text{Jumlah conveyor} = 82$$

$$\text{Kapasitas} = 20.284,85 \text{ kg/hari} = 0,03 \text{ ton/jam}$$

Waktu operasi	= 1200 menit = 20 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 5 meter = 16,4 ft
Tinggi elevasi (T)	= 0,46 ft (mengikuti <i>tinggi inspection machine</i>)

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,92 kg/L

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor* I didapat spesifikasi

- Nama : *Screw conveyor*
- Waktu operasi : 20 jam
- Panjang *screw* (L) : 16,40 ft
- Tinggi elevasi (T) : 0,46 ft
- Kapasitas : 0,03 ton/jam
- Kecepatan (ω) : 0,88 rpm
- *Power* motor : 0,43 hp

53. *Inspection Machine* (X-530)

Fungsi : Untuk memeriksa keseragaman berat pada kapsul

Tipe : CY-101

Data pada mesin

- Kapasitas = 50.000 kapsul/jam
- *Power* = $\frac{1}{4}$ Hp
- Ukuran *machine* = 220x50x140cm (LxWxH) [59]

Kapsul yang dihasilkan dalam sehari = 40.569.711 kapsul /hari

Untuk 1 mesin pengisian memiliki kapasitas 50.000 kapsul/jam. Waktu operasi

mesin = 20 jam

Sehingga dalam sehari 1 mesin dapat menghasilkan

$$= 50.000 \text{ kapsul/jam} \times 20 \text{ jam /hari} = 1.000.000 \text{ kapsul/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Banyak mesin yang dibutuhkan} &= \frac{40.569.711 \frac{\text{kapsul}}{\text{hari}}}{1.000.000 \frac{\text{kapsul}}{(\text{hari})(\text{mesin})}} \\ &= 40,56 \approx 41 \text{ mesin} \end{aligned}$$

Sebagai cadangan maka dibutuhkan 2 x jumlah mesin = 2 x 41 = 82 mesin

54. Conveyor XII (J-531)

Fungsi : Untuk mengangkut *powder* ke *Automatic Blister Packing Machine*

Tipe : *Screw conveyor* yang dilengkapi dengan *hopper*

Data :

Jumlah <i>conveyor</i>	= 82
Kapasitas	= 494,75 kg/hari = 0,0006 ton/jam
Waktu operasi	= 1200 menit = 20 jam
Panjang <i>screw</i> (L)	= 5 meter = 16,4 ft
Tinggi elevasi (T)	= 0,72 ft (mengikuti <i>tinggi automatic blister packing machine</i>)

Densitas Campuran diperoleh dari komponen (biomassa, air, susu skim, asam askorbat, sukrosa) = 0,92 kg/L

Harga F = 1,5 [16, Tabel 5.4(b)], harga S = 54 dan diameter *conveyor* = 6 inchi [16, Tabel 5.4(c)]

Dengan cara yang sama pada perhitungan pada *Conveyor I* didapat spesifikasi

- Nama : *Screw conveyor*
- Waktu operasi : 20 jam
- Panjang *screw* (L) : 16,40 ft
- Tinggi elevasi (T) : 0,72 ft
- Kapasitas : 0,0006 ton/jam
- Kecepatan (ω) : 0,88 rpm
- *Power* motor : 0,43 Hp

55. *Automatic Blister Packing Machine (X-540)*

Fungsi : Untuk mengemas kapsul dalam bentuk strip-strip (*blister*)

Tipe : KDB-240

Data pada mesin

- Kapasitas = 400 *blister*/menit (1 *blister* = 10 kapsul)
- *Power* = 15 kW = 20,12 Hp
- Ukuran *machine* = 230 x 130 x 220cm (LxWxH) [60]

Kapsul yang dihasilkan dalam sehari = 40.569.711 kapsul /hari

Untuk 1 mesin pengisian memiliki kapasitas = 400 *blister*/menit

$$= 4000 \text{ kapsul/menit}$$

$$= 240.000 \text{ kapsul/jam}$$

Waktu operasi mesin = 20 jam Sehingga dalam sehari 1 mesin dapat

menghasilkan = 240.000 kapsul/jam x 20 jam /hari = 4.800.000 kapsul/hari

$$\text{Banyak mesin yang dibutuhkan} = \frac{40.569.711 \frac{\text{kapsul}}{\text{hari}}}{4.800.000 \frac{\text{kapsul}}{(\text{hari})(\text{mesin})}} = 8,45 \approx 9 \text{ mesin}$$

Sebagai cadangan maka dibutuhkan $2 \times \text{jumlah mesin} = 2 \times 9 = 18 \text{ mesin}$

APPENDIX D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

D.1. Perhitungan Harga Peralatan

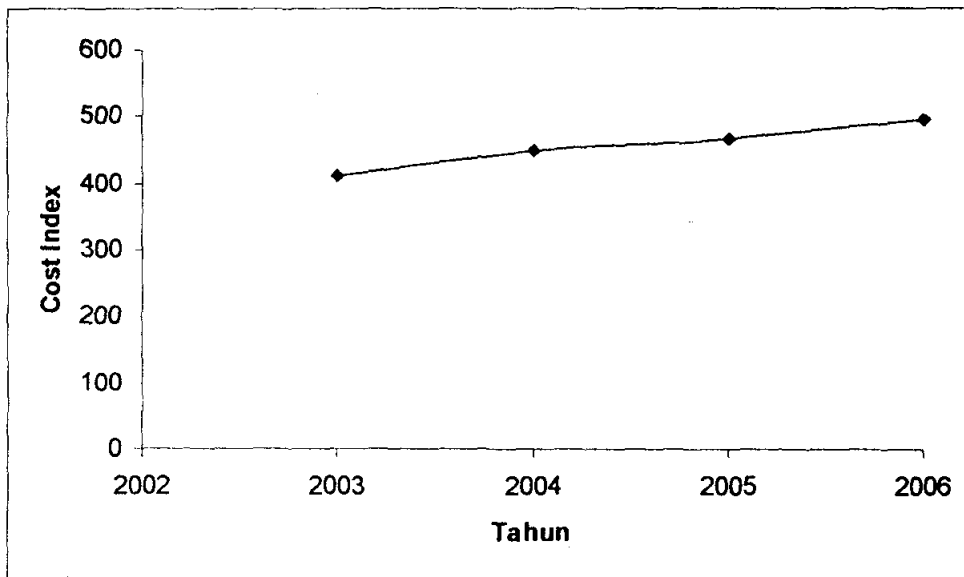
D.1.1. Metode Perkiraan Harga

Harga peralatan dari tahun ke tahun selalu berubah mengikuti kondisi ekonomi. Oleh karena itu untuk mengetahui harga alat untuk tahun yang akan datang diperlukan suatu indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan sekarang ke harga peralatan tahun yang akan datang.

Untuk menghitung harga tahun yang akan datang digunakan rumus:

$$\text{Harga alat tahun yg akan datang} = \frac{\text{Cost index tahun yg akan datang}}{\text{Cost index pd tahun ini}} \times \text{harga alat pd tahun ini}$$

Pada perencanaan pabrik kapsul probiotik, harga alat diperoleh dari pustaka Peters & Timmerhauss, Ulrich dan beberapa *supplier* di Indonesia. *Cost index* yang digunakan adalah Chemical Engineering Plant *Cost index*. Diperkirakan pabrik kapsul probiotik akan didirikan pada tahun 2010. Data *cost index* untuk menentukan nilai *cost index* tahun 2010 diambil dari California Energy Commisison [61].

Gambar D.1 Grafik hubungan *cost index* vs tahun

Dengan menggunakan regresi linear didapat persamaan $y = 27x - 53667$

($y = \text{cost index}$, $x = \text{tahun}$), kemudian diperoleh:

- *Cost index* pada tahun 2007 = 522
- *Cost index* pada tahun 2010 = 603

Contoh perhitungan :

Nama alat : Tangki Penyimpanan I (Asam Laktat)

Kapasitas : 1.323,1219 gal

Bahan konstruksi : *Stainless steel* 316-L

Harga tahun 2007 : Rp. 245.392.000

Harga tahun 2010 : $\frac{603}{522} \times 245.392.000 = \text{Rp } 283.470.069$

Dengan cara yang sama, harga peralatan alat proses dan utilitas di sajikan pada tabel D.1 dan tabel D.2

Tabel D.1 Harga alat proses

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 2007 (Rp)	Harga 2010 (Rp)	Harga total 2010 (Rp)
F-110	Tangki Penyimpanan I (Asam Laktat)	1	55.088.000	63.636.138	63.636.138
F-120	Tangki Penyimpanan II (Ammonium Hidroksida)	1	55.088.000	63.636.138	63.636.138
F-140	Tangki penyimpanan ammonium hidroksida	1	55.088.000	63.636.138	63.636.138
J-131	Conveyor I	1	16.902.000	19.524.724	19.524.724
J-132	Conveyor II	1	28.796.000	33.264.345	33.264.345
J-133	Conveyor III	1	28.796.000	33.264.345	33.264.345
J-134	Conveyor IV	1	10.016.000	11.570.207	11.570.207
D-210	Tangki sterilisasi I	1	789.386.000	911.876.931	911.876.931
L-211	Pompa	1	10.350.000	11.956.034	11.956.034
E-212	Tangki pendingin I	1	789.386.000	911.876.931	911.876.931
L-213	Pompa	1	8.200.000	9.472.414	9.472.414
D-220	Tangki sterilisasi II	1	146.484.000	169.214.276	169.214.276
L-221	Pompa	1	5.000.000	5.775.862	5.775.862
E-222	Tangki pendingin II	1	146.484.000	169.214.276	169.214.276
L-223	Pompa	1	5.000.000	5.775.862	5.775.862
D-230	Mixer I	1	599.395.000	692.404.569	692.404.569
L-231	Pompa	1	5.000.000	5.775.862	5.775.862
E-232	Tangki pendingin III	1	150.866.000	174.276.241	174.276.241
L-233	Pompa	1	8.200.000	9.472.414	9.472.414
D-240	Mixer II	1	2.299.924.000	2.656.808.759	2.656.808.759
L-241	Pompa	1	10.350.000	11.956.034	11.956.034
F-242	Intermediate tank I	1	346.804.000	400.618.414	400.618.414
L-243	Pompa	1	13.300.000	15.363.793	15.363.793
H-250	Filter	1	29.422.000	33.987.483	33.987.483
J-251	Conveyor V	1	6.573.000	7.592.948	7.592.948
F-252	Intermediate tank II	1	2.000.000	2.310.345	2.310.345
J-253	Conveyor VI	1	20.032.000	23.140.414	23.140.414
R-310	Bioreaktor	1	520.916.823	601.748.744	601.748.744
H-320	Mikrofilter	1	782.500.000	903.922.414	903.922.414
L-321	Pompa	1	5.000.000	5.775.862	5.775.862
F-322	Intermediate tank III	1	105.481.000	121.848.741	121.848.741
L-323	Pompa	1	8.200.000	9.472.414	9.472.414
D-410	Mixer III	1	331.780.000	383.263.103	383.263.103
B-420	Freeze dryer	22	7.224.547.481	8.345.597.952	183.603.154.938
J-421	Conveyor VII	22	14.711.000	16.993.741	373.862.310
C-430	Centrifugal mill	1	932.427.000	1.077.113.948	1.077.113.948
J-431	Conveyor VIII	1	33.178.000	38.326.310	38.326.310
F-440	Intermediate tank IV	1	197.190.000	227.788.448	227.788.448

J-441	Conveyor IX	34	14.711.000	16.993.741	577.787.207
X-510	Automatic capsule filling machine	34	25.040.000	28.925.517	983.467.586
J-511	Conveyor X	34	11.268.000	13.016.482,76	442.560.414
X-520	Capsule polishing machine	10	9.390.000	10.847.068,97	108.470.690
J-521	Conveyor XI	82	7.825.000	9.039.224,138	741.216.379
X-530	Inspection machine	82	12.520.000	14.462.758,62	1.185.946.207
J-531	Conveyor XII	82	7.825.000	9.039.224,138	741.216.379
X-540	Automatic blister packing machine	18	20.345.000	23.501.983	423.035.690
	TOTAL				199.003.743.544

Tabel D.2. Harga alat utilitas

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 2007 (Rp)	Harga 2010 (Rp)	Harga total 2010 (Rp)
F-610	Bak penampung	1	13.150.667	15.191.287	15.191.287
L-611	Pompa	1	500.000	577.586	577.586
H-620	Tangki demineralisasi	1	11.268.000	13.016.483	13.016.483
L-621	Pompa	1	1.100.000	1.270.690	1.270.690
F-630	Tangki penampung demineralisasi	1	65.104.000	75.206.345	75.206.345
L-631	Pompa	1	300.000	346.552	346.552
B-640	Boiler	1	1.583.154.000	1.828.815.828	1.828.815.828
P-650	Sand filter	1	10.614.726	12.261.838	12.261.838
L-651	Pompa	1	1.400.000	1.617.241	1.617.241
F-180	Tangki penampung air proses	1	83.571.000	96.538.914	83.571.000
L-141	Pompa	1	1.925.000	2.223.707	2.223.707
	Refrigerator I	1	927.410.057	1.071.318.514	1.071.318.514
	Genset	1	500.000.000	577.586.207	577.586.207
	Blower	1	4.695.000	5.423.534	5.423.534
	Bak penampung limbah	1	12.000.000	13.862.069	13.862.069
	Deareator	1	234.750.000	271.176.724	271.176.724
	Humidifier	2	512.500	592.026	1.184.052
	Total				4.930.575.118

Total harga alat =Rp 199.003.743.544 + Rp 4.930.575.118 = Rp 204.197.174.884

D.2. Perhitungan harga bahan baku

Harga bahan baku diperoleh dari *supplier* di Indonesia yang dapat dilihat pada tabel D.3.

Tabel D.3. Harga bahan baku

Bahan	Harga satuan (Rp)	Jumlah kebutuhan (/hari)	Jumlah kebutuhan (/tahun)	harga/thn (Rp)
H ₂ O ₂	269.493 /Liter	5.008,6 Liter	1.502.581,8 Liter	404.935.285.696
Asam askorbat	100.000 /kg	150,3 kg	45.077,5 kg	4.507.745.497
Daging sapi segar	2300 /liter	50.086,1 Liter	15.025.818,32 Liter	34.559.382.140
Asam laktat	71.981,4 / Liter	5.008,6 Liter	1.502.581,8 Liter	108.157.932.625
Daging skim powder	42.255 /kg	14.024,1 kg	4.207.229,1 kg	177.776.466.891
Natrium karbonat	105.215 /kg	500,9 kg	150.258,2 kg	15.809.407.234
Sukrosa	83.832/kg	2.003,4 kg	601.032,7 kg	50.385.675.890
Biomassa	1.469.739,1/kg	5.008,6 kg	1.502.581,8 kg	2.239.562.445.088
Kapsul	150 /kapsul	40.569.711 kg	12.170.913.360 kg	1.822.843.770.398
			Total	4.858.538.111.458

D.3. Perhitungan harga utilitas

Perhitungan harga utilitas meliputi biaya media filter, NaCl untuk regenerasi, harga bahan bakar, dan harga listrik. Contoh perhitungan biaya listrik :
 Dari Bab VI diketahui bahwa lumen output dari pos keamanan adalah 2.583,28 lumen. Efficacy dari lampu fluorescent adalah 85 lumen/watt. Sehingga,

$$\text{power} = \frac{2583,28 \text{ lumen}}{85 \text{ lumen/watt}} = 0,03 \text{ kW}$$

Berdasarkan keputusan Presiden Republik Indonesia nomor 76 tahun 2003, biaya listrik luar beban puncak (LWBP) untuk industri adalah Rp 439/kWh. Sedangkan, biaya listrik beban puncak (WBP) pada pk 17.00-22.00 adalah $1,4 \times \text{LWBP}$. Lampu di pos keamanan menyala selama 12 jam/hari, yaitu dari jam 17.00 – 05.00. Maka biaya listrik dihitung sebagai berikut :

$$\text{WBP} = 5 \text{ jam} \times 0,023 \text{ kW} = 0,114 \text{ kWh}$$

Harga listrik WBP = $1,4 \times \text{Rp } 439/\text{kWh} \times 0,114 \text{ kWh} = \text{Rp } 70,04 \text{ /hari}$

LWBP = $7 \text{ jam} \times 0,023 \text{ kW} = 0,16 \text{ kWh}$

Harga listrik LWBP = $\text{Rp } 439/\text{kWh} \times 0,16 \text{ kWh} = \text{Rp } 70,04 \text{ /hari}$

Dengan cara yang sama, biaya listrik dihitung sebagai berikut :

Tabel F.4 Biaya listrik dari lampu

Ruang	Lumen Output	Efficacy	Waktu	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP (Rp)	LWBP (Rp)
ruang pos tpam	1937,457	85	12	0,02	0,11	0,16	70,04	70,04
rkir sepeda n motor	4.305,46	40	12	0,11	0,54	0,75	330,77	330,77
rkir mobil	21.527,30	40	12	0,54	2,69	3,77	1.653,83	1.653,83
rkir truk	43.054,59	40	12	1,08	5,38	7,53	3.307,67	3.307,67
ruang toilet	4.305,46	85	12	0,05	0,25	0,35	155,66	155,66
antor	96872,84	85	12	1,14	0,00	21,65	0,00	9.506,07
antin	8.072,74	85	12	0,09	0,47	0,66	291,85	291,85
uang proses	2.906.185,13	40	24	72,65	363,27	1.380,44	223.267,67	606.012,25
uang utilitas	129.163,78	40	24	3,23	16,15	61,35	9.923,01	26.933,88
idang han baku dat	9.687,28	40	24	0,24	1,21	4,60	744,23	2.020,04
idang han baku r	26909,12	40	24	0,67	3,36	12,78	2.067,29	5.611,22
idang duk	66.196,44	40	24	1,65	8,27	31,44	5.085,54	13.803,61
ngkel	19.374,56	85	24	0,23	1,14	4,33	700,45	1.901,21
sholla	3.874,90	85	12	0,05	0,23	0,32	140,09	140,09
iklinik	9.687,28	85	24	0,11	0,57	2,17	350,22	950,61
ang erator	1345,45	85	12	0,02	0,08	0,11	48,64	48,64
oratorium	9.687,28	85	24	0,11	0,57	2,17	350,22	950,61
n dan uman	269091,216	40	12	6,73	33,64	47,09	20.672,93	20.672,93
a uasan	322.909,46	40	12	8,07	40,36	56,51	24.807,52	24.807,52
						Σ	293.967,64	719.168,52

Tabel D.5 Biaya listrik dari alat proses dan utilitas

Ruang	hp	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP (Rp)	LWBP (Rp)
Proses dan utilitas	2.048,37	1.528,03	7.640,1	29.032,5	4.695.632	12.745.288

Total biaya listrik lampu dan alat = Rp 293.968 + Rp 719.167 +
Rp 4.695.632+ Rp 12.745.288
= Rp 18.454.057/hari
= Rp 5.536.217.011 /tahun

Biaya beban listrik = Rp 29.500/kW bulan

Kebutuhan listrik total = 1624,51 kW

Total biaya beban dalam setahun = 1624,51 kW x 29.500 /kW bulan x
12 bulan/tahun
= Rp 575.076.540/tahun

Total biaya listrik = Total biaya beban + biaya listrik lampu
dan alat

Total biaya listrik = Rp575.076.540 + Rp 5.536.217.011
= 6.111.293.551 /tahun

Biaya kebutuhan air dihitung dengan rumus

Biaya kebutuhan air = Biaya pemakaian + biaya administrasi + biaya
pemeliharaan + biaya pelayanan air kotor

Kebutuhan air total = 178,8 m³/hari

Berdasarkan keterangan dari PDAM daerah Bandung [62], diperoleh harga untuk
pemakaian air untuk daerah Bandung yaitu:

1-10 m³ = Rp 440

$11-20\text{ m}^3 = \text{Rp } 680$

$21-30\text{ m}^3 = \text{Rp } 800$

$>30\text{ m}^3 = \text{Rp } 1.020$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya pemakaian} &= 10 \times \text{Rp } 440 + 10 \times \text{Rp } 680 + 10 \times \text{Rp } 800 + (178,8-30) \\ &\quad \times \text{Rp } 1.020 \\ &= \text{Rp } 170.976/\text{hari} \\ &= 51.292.800/\text{tahun} \end{aligned}$$

Biaya administrasi (biaya cetak rekening)= Rp 7500/ bulan

Biaya pelayanan air kotor = Rp 120.000 /bulan

Biaya pemeliharaan = Rp 131.300 /bulan

$$\begin{aligned} \text{Biaya kebutuhan air} &= \text{Rp } 51.292.800 + (\text{Rp } 7500 + \text{Rp } 120.000 + \text{Rp } 131.300) \\ &\quad \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 54.398.400/\text{tahun} \end{aligned}$$

Flocculant yang diperlukan untuk mengolah *permeate* sebanyak 60.000 L per hari adalah 16 oz, dengan harga Rp 215.970 per oz, sehingga dalam setahun diperlukan $(\text{Rp } 215.970/\text{hari} \times 300 \text{ hari/tahun}) = \text{Rp } 64.791.000$

Tabel D.6 Biaya utilitas

Bahan	Harga satuan (Rp)	Jumlah kebutuhan 1 tahun	Jumlah kebutuhan (/tahun)	harga/thn (Rp)
polite	2.500 /kg	360 kg	360 kg	4.381.200
aCl	300/kg	0,25 kg	73,55 kg	107.280
olar	6.849,7 /Liter	26.546 Liter	7963800 Liter	54.549.640.860
edia filter				1.500.000
strik				6.111.293.551
ir				54.398.400
407C	30.000/kg	134.515,3 kg	269.030,6 kg	8.070.918.000
occulant	215.970/16 oz	16 oz	4800 oz	64.791.000
			Jumlah	68.857.030.291

D.4. Perhitungan Bahan Kemasan

Produk yang dihasilkan sebanyak 40.569.711 kapsul/hari akan dikemas dalam bentuk *blister packing* dengan 1 blister terdiri dari 10 kapsul, sehingga total *blister* yang dibutuhkan sebanyak 4.056.971 blister. Selanjutnya blister tersebut akan dimasukkan ke dalam *primer packaging*. 1 *primer packaging* terdiri dari 2 *blister*, sehingga kebutuhan *primer packaging* sebesar 2.028.485 *primer packaging*. Kemudian *primer packaging* dikemas ke dalam bentuk *cardboard* dengan 1 *cardboard* berisi 45 *primer packaging*. Total kebutuhan *cardboard* sebanyak 45.077 *cardboard*, setelah itu *cardboard* siap untuk didistribusikan ke konsumen. Harga bahan kemasan yang digunakan dapat dilihat pada tabel D.7

Tabel D.7. Biaya bahan kemasan

Bahan	Harga satuan (Rp)	Jumlah kebutuhan (/hari)	harga /hari (Rp)	harga/thn (Rp)
ster	523/blister	4.056.971 blister	2.120.365.345	636.109.603.508
mer packaging	1000/primer packaging	2.028.485 primer packaging	2.028.485.000	608.545.500.000
rdboard	3000 /cardboard	45.077 cardboard	135.231.000	40.569.300.000
			Jumlah	1.285.224.403.508

D.5. Perhitungan harga jual produk

Kapsul probiotik akan dijual dengan harga Rp 775 /kapsul atau Rp 15.500 per pack (isi 2 blister). Produk yang akan dihasilkan sebanyak 40.569.711 kapsul/hari, sehingga total harga jual produk yaitu

40.569.711 kapsul/hari x Rp 775 /kapsul = Rp 31.441.526.025/hari

= Rp 9.432.457.807.500 /tahun

D.6. Perhitungan gaji pegawai

Pabrik kapsul probiotik ini mempekerjakan pegawai sebanyak 200 orang dengan gaji pegawai ditetapkan selama 12 bulan dengan 1 bulan tunjangan.

Karyawan pada kapsul probiotik terbagi atas :

1. Karyawan non shift

Karyawan yang bekerja non shift adalah karyawan di bidang R&D, akuntansi dan keuangan, personalia dan administrasi, promosi dan marketing, pegawai kebersihan, serta sopir dengan jam kerja Senin-Jumat pukul 08.00-16.00, dan Sabtu pukul 08.00-12.00.

2. Karyawan shift

Karyawan yang bekerja shift terdiri dari supervisor proses, karyawan di bidang proses, teknik dan pemeliharaan, utilitas, petugas *Quality Control*, pekerja gudang, dan keamanan, Jam kerja karyawan shift kecuali petugas kantin dan koperasi serta petugas poliklinik adalah dari hari Senin-Minggu dengan jadwal :

Shift A: pukul 07.00-15.00

Shift B: pukul 15.00-23.00

Shift C: pukul 23.00-07.00

Pergantian shift dilakukan setiap dua hari sekali, setelah enam hari bekerja, karyawan mendapat libur dua hari.

Pergantian shift untuk petugas kantin dan koperasi serta petugas poliklinik sebanyak 2 kali dengan jam kerja yaitu hari Senin-Minggu dengan jadwal

Shift A : 07.00- 15.00

Shift B : 15.00 –23.00

Pergantian shift dilakukan setiap seminggu sekali

Perhitungan gaji pegawai dapat dilihat pada tabel D.10.

Tabel D.8. Perincian Gaji Karyawan Tiap Bulan

No.	Posisi	Jumlah	Gaji (Rp.)	Total (Rp.)
1	Direktur Utama	1	20.000.000	20.000.000
2	General Manager	1	10.000.000	10.000.000
3	Manager Personalia dan Umum	1	7.000.000	7.000.000
4	Manager Produksi	1	7.000.000	7.000.000
5	Manager Pemasaran	1	7.000.000	7.000.000
6	Manager Keuangan	1	7.000.000	7.000.000
7	Kepala Bagian Teknik dan Pemeliharaan	1	4.000.000	4.000.000
8	Kepala Bagian Quality Control dan Laboratorium	1	4.000.000	4.000.000
9	Kepala Bagian Proses	1	4.000.000	4.000.000
10	Kepala Bagian Pembelian	1	4.000.000	4.000.000
11	Kepala Bagian Research and Development	1	4.000.000	4.000.000
12	Kepala Bagian Public Relation	1	4.000.000	4.000.000
13	Kepala Bagian Promosi	1	4.000.000	4.000.000
14	Sekretaris	2	1.700.000	3.400.000
15	Supervisor Proses	6	2.500.000	15.000.000
16	Pekerja Proses	90	1.000.000	90.000.000
17	Pekerja Teknik dan Pemeliharaan	6	1.500.000	9.000.000
18	Pekerja Utilitas	12	1.000.000	12.000.000
19	Pekerja Quality Control dan Laboratorium	12	1.500.000	18.000.000
20	Pekerja Research and Development	4	1.500.000	6.000.000
21	Pekerja Akutansi dan Keuangan	2	1.500.000	3.000.000
22	Pekerja Personalia dan Administrasi	2	1.500.000	3.000.000
23	Pekerja Promosi dan Marketing	12	1.500.000	18.000.000
24	Pekerja Gudang	12	1.000.000	12.000.000
25	Pekerja Kebersihan	9	750.000	6.750.000
26	Keamanan	12	750.000	9.000.000
27	Sopir	2	750.000	1.500.000
28	Koperasi	2	500.000	1.000.000
29	Petugas poliklinik	2	1.000.000	2.000.000
Total		200		295.450.000

$$\begin{aligned}\text{Total gaji pegawai} &= \text{Rp } 295.450.000 / \text{bulan} \times 13 \text{ bulan/tahun} \\ &= \text{Rp } 3.853.850.000 / \text{tahun}\end{aligned}$$

